

## ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

УДК 62-52-83:656.56

Крюков О.В.

### ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭЛЕКТРОПРИВОДНЫХ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ

Рассмотрены особенности развития сети газопроводов в России и режимы работы электроприводов газоперекачивающих агрегатов на компрессорных станциях магистрального транспорта газа. Приведены результаты комплексного анализа и сопоставления существующей техники приводов турбокомпрессоров мегаваттного класса по основным энергетическим характеристикам, а также надежности и экологичности их эксплуатации. Представлен существующий парк электроприводов компрессоров и данные по реализации наиболее эффективных и наукоемких проектов с применением новых принципов и алгоритмов управления технологически связанных электроприводных агрегатов. Предложены перспективные направления совершенствования электроприводов нагнетателей при модернизации в режимах пуска, регулирования и диагностики для повышения надежности и энергоэффективности магистрального транспорта газа. Рассмотрены характерные примеры реализации энергоэффективных электроприводных газоперекачивающих агрегатов на компрессорных станциях магистрального транспорта газа в России.

**Ключевые слова:** компрессорная станция, газоперекачивающий агрегат, электропривод, частотное регулирование, синхронный двигатель, модернизация, энергосбережение, энергоэффективность.

#### ВВЕДЕНИЕ. РАЗВИТИЕ СЕТИ ГАЗОПРОВОДОВ В РОССИИ

В настоящее время газовая промышленность обеспечивает жизнедеятельность всех отраслей народного хозяйства и социальной сферы и во многом определяет формирование основных финансово-экономических показателей страны. Кроме того, природный газ и в дальнейшей перспективе останется важнейшим видом уникального топлива и ценного сырья для химической промышленности. Этому в значительной степени способствует то, что на территории России сосредоточено более 1/3 мировых запасов природного газа и создан уникальный производственный потенциал.

В то же время, спецификой газовой отрасли является необходимость транспорта больших объемов газа на значительные расстояния с месторождений Крайнего Севера в Европейскую часть России и далее. Ведется интенсивное строительство газопроводов в Восточных регионах страны. Техничко-экономическая эффективность этого процесса в значительной степени определяет цену газа у потребителей, составляя на сегодняшний день до 52% его стоимости. Резервы и возможности значительного сокращения этой величины, как показывают исследования [1], в отрасли имеются, но требуют системного и взвешенного подхода к проектированию и модернизации оборудования компрессорных станций (КС) и, в частности, газоперекачивающих агрегатов (ГПА). Это связано с тем, что приоритетными задачами в газовой отрасли в соответствии с [2] являются:

- полное и надежное обеспечение населения и экономики страны энергоресурсами по доступным и в то же время стимулирующим развитию отрасли ценам;

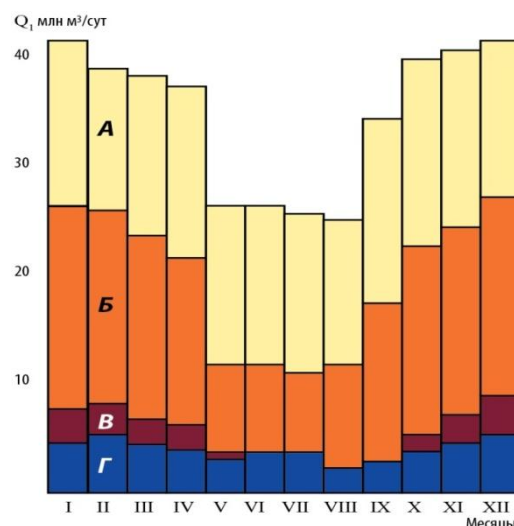
- максимально возможное снижение рисков и недопущение развития кризисных ситуаций на магистральных газопроводах (МГ);

- динамичное снижение удельных затрат на производство и использование энергоресурсов за счет сокращения потерь при добыче и транспортировке, применения энергосберегающих технологий и оборудования.

#### СОПОСТАВЛЕНИЕ ГАЗОТУРБИННЫХ И ЭЛЕКТРОПРИВОДНЫХ АГРЕГАТОВ

Оптимальный режим эксплуатации МГ заключается в максимальном использовании их пропускной способности (газоподачи) при минимальных энергозатратах на компримирование. В значительной степени этот режим определяется работой КС, устанавливаемых по трассе газопровода через каждые 100-150 км, исходя из величины падения давления газа на одном участке не более чем на 1,6-2,5 МПа, а также из привязки станции к населенным пунктам и источникам электроэнергии.

Характерный вид годовых графиков переменного режима работы газопровода при изменении его производительности показан на **рис. 1**, из которого видно, что наибольшее влияние на режим работы КС оказывают сезонные изменения производительности МГ, связанные с отопительным сезоном.



**Рис. 1.** Схема сезонного колебания расхода газа крупного промышленного центра: А - ТЭЦ; Б - промышленность; В - отопление; Г - ЖКХ

Для уменьшения затрат мощности КС на перекачку газа, увеличения пропускной способности газопровода и экономии энергоресурсов выгодно поддерживать максимальное расчетное давление газа в турбо-

проводе, снижать температуру перекачиваемого газа за счет его охлаждения, использовать газопроводы большего диаметра с очисткой внутренней полости трубопровода.

Оборудование и обвязка КС приспособлены к переменному режиму работы МГ, но это приводит к снижению загрузки ГПА и перерасходу энергопотребления из-за отклонения от оптимальных КПД оборудования. Повышение давления газа на КС осуществляется в одну, две и три ступени с помощью поршневых или центробежных нагнетателей, приводом которых могут служить поршневые двигатели внутреннего сгорания, газотурбинные установки (ГТУ) и электродвигатели (ЭГПА).

Несмотря на все многообразие типоразмеров ГПА различных фирм-изготовителей, вид привода нагнетателей КС и их мощность в основном определяются пропускной способностью газопровода. К настоящему времени в ОАО «Газпром» России общая доля газотурбинных приводов составляет 85,3%, а электроприводных – 14,1%. В развитых странах Запады согласно статистике использование газотурбинных и электрических приводов к центробежным нагнетателям осуществляется в равных долях на основании требований, предъявляемых к конкретным КС. Сравнительные показатели ГПА основных типов по [1,4] приведены в табл. 1.

Как правило, каждый из современных приводных агрегатов турбокомпрессоров – уникальная система по мощности (до 64 МВт), стоимости, набору вспомогательных устройств и функциональным возможностям. Поэтому надежная и безаварийная работа всех агрега-

тов является главным фактором экономичности и стабильности поставок газа в рамках Единой системы газоснабжения (ЕСГ) России. В настоящее время в 706 цехах, входящих в состав 263 КС, в эксплуатации находится более 4000 ГПА суммарной мощностью 44 млн кВт.

Количество газа, перекачиваемого через КС, можно регулировать включением и отключением числа работающих ГПА, изменением скорости вращения вала ГПА и т.п. Однако во всех случаях необходимо стремиться к тому, чтобы весь требуемый объем газа перекачать меньшим числом агрегатов, что обусловлено меньшим расходом топливного газа, электроэнергии на нужды перекачки и, как следствие, к увеличению подачи товарного газа по газопроводу и снижению его себестоимости.

Анализ показателей, характеризующих работу ЕСГ страны сегодня, говорит о значительном износе, снижении технического состояния и производительности основных агрегатов КС. Средний возраст газопроводов ЕСГ России составляет 22 года, большая часть которых (около 80%) служит от 15 до 40 лет. Эти данные свидетельствуют о необходимости предотвращения дальнейшего снижения технического состояния и производительности оборудования основного оборудования объектов ЕСГ, повышения основных эксплуатационных показателей и снижения энергозатрат при транспорте газа. Эти результаты могут быть достигнуты только за счет реконструкции, модернизации и оптимизации режимов эксплуатации основного оборудования.

Таблица 1

Сопоставление характеристик типов приводов ГПА

| Показатели эффективности                                                          | Тип электропривода                                                                         |                                 | Газотурбинный привод                                                                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                   | высокоскоростной двигатель                                                                 | двигатель с мультипликатором    |                                                                                            |
| 1. Условия электроснабжения                                                       | Имеет большое преимущество в регионах с дешевой электроэнергией от АЭС, ГЭС, ТЭЦ до 100 км |                                 | Имеет преимущество в отдаленных регионах добычи и переработки                              |
| 2. Категория электроприемника                                                     | Обеспечение электроснабжения от 2 независимых взаиморезервируемых источников питания       |                                 | Электроэнергия используется только для АВО газа, масла и периферии                         |
| 3. КПД затрат на энергоресурсы                                                    | Общий КПД от ТЭЦ с преобразованием 36-37%                                                  | Доп. потери КПД снижают на 1,5% | КПД равен 26-28%, т.е. на 26-30% ниже ЭГПА (авиационные до 32%)                            |
| 4. Расход транспортируемого газа                                                  | Отсутствует, позволяя сберечь полезный и ценный продукт для нужд промышленности            |                                 | Сжигается до 7,5% от транспортируемого газа                                                |
| 5. Первоначальная стоимость в о.е.                                                | 2,5                                                                                        | 1,0                             | 6,0 – 9,0                                                                                  |
| 6. Надежность:<br>– средняя наработка на отказ<br>– отказы привода к общему числу | 25-27 тыс. ч<br>8-10 %                                                                     | 27 тыс. ч<br>35-48 %            | 40 тыс. ч<br>в 2,2-2,5 раз выше ЭГПА                                                       |
| 7. Срок службы                                                                    | 15-20 лет                                                                                  |                                 | 15-20 лет (авиационные двигатели 40-50 тыс.ч)                                              |
| 8. Затраты на тех. обслуживание и ремонт                                          | 4% эксплуатационных расходов                                                               |                                 | ТО до 12-15% стоимости нового привода (ремонт до 30% цены двигателя)                       |
| 9. Трудоемкость ремонта, чел.-ч.                                                  | ТР -440 (по РД-39-095-91)<br>СР -1800<br>КР -2750                                          |                                 | ТР -960<br>СР -2560<br>КР -3200                                                            |
| 10. Экология                                                                      | Вредные выбросы отсутствуют                                                                |                                 | Выбросы NO <sub>x</sub> , УНС, СО <sub>x</sub><br>Шумо-вибрационные воздействия на природу |

Примечание. ТО – техническое обслуживание; ТР, СР, КР – текущий, средний и капитальный ремонты.

ОБОСНОВАНИЕ ОБЛАСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ  
ЭЛЕКТРОПРИВОДНЫХ ГПА

Для системного исследования работы ЭГПА в штатных режимах необходим системный подход к синтезу системы с анализом характеристик основных элементов центробежных нагнетателей и синхронных двигателей (СД) и их взаимовлиянием. Для основных типов ЭГПА, представленных в табл. 2, к настоящему времени разработаны и успешно функционируют отраслевые и зарубежные системы регулирования на основе тиристорных пускорегулирующих устройств и высоковольтных преобразователей частоты на базе НПЧ или автономных инверторов тока.

Таблица 2  
Статистика существующего парка ЭГПА

| Тип агрегата  | Мощность, МВт | Число ЭГПА | Общая мощность |
|---------------|---------------|------------|----------------|
| СТМ(СТД)-4000 | 4             | 338        | 1352           |
| СТД-12,5      | 12,5          | 328        | 4100           |
| СДГ-12,5      | 12,5          | 20         | 250            |
| ЭГПА-25       | 25            | 6          | 150            |
| ЭГПА-Ц-6,3    | 6,3           | 20         | 126            |
| ЭГПА-Ц-6,3К   | 6,3           | 9          | 56,7           |

Как видно из данных табл. 2, всего на КС ОАО «Газпром» эксплуатируются 725 ЭГПА разных типов и единичной мощности, из них 338 ЭГПА наиболее распространенного типа с синхронными двигателями СТД-12,5. ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород» является третьим по объемам транспортируемого газа и единственным в системе ОАО «Газпром» газотранспортным предприятием, в котором доля ЭГПА, участвующих в транспорте газа, составляет более 50% (130 шт.).

Структурная схема ЭГПА -12,5 представлена на рис. 2, основными элементами которой являются центробежный полнонапорный нагнетатель (Н) типа Н-235-21-3, повышающая передача (Р), синхронный электродвигатель (ЭД) типа СТД-12500-2Р с тиристорной щеточной системой возбуждения (ТВУ), щеточно-контактным аппаратом (ЩКА) и согласующим трансформатором (СТР), токоограничивающий реактор (РБУ), высоковольтный выключатель (ВВ), маслосистема низкого давления (МСНД) и уплотнения (МСВД), система автоматического управления и защит (САУ и ТЭЗ).

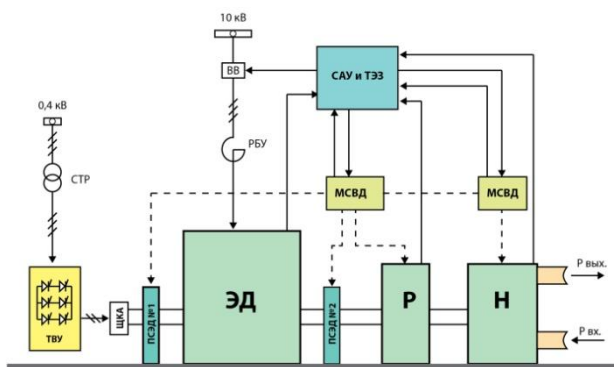


Рис. 2. Структурная схема ЭГПА - 12,5

ЭГПА нового поколения призваны обеспечить высокий уровень эксплуатационных показателей, включая энергетические и пускорегулировочные ха-

рактеристики, высокую надежность, безаварийность и живучесть основных агрегатов. С этой целью для удовлетворения потребностей вновь строящихся и модернизируемых ЭГПА разработаны современные промышленные системы ЭГПА отечественного и зарубежного производства [1,3]. Вместе с тем, даже в этих вариантах ЭГПА до сих пор не решен комплекс актуальных проблем реализации инновационных технологий и теоретических разработок, обеспечивающих надежное и оптимальное функционирование ЭГПА в условиях КС [4]:

- 1) алгоритмы плавного гарантированного запуска синхронного электродвигателя под нагрузкой или из «горячего» состояния в режимах скалярного, векторного частотного или квазичастотного формирования пусковых характеристик;
- 2) инвариантное автоматическое регулирование скорости электродвигателя ЭГПА для стабилизации оптимального давления газа на выходе из КС в условиях действия внешних возмущений технологического и климатического характера;
- 3) выбор оптимальной топологии высоковольтных ПЧ для питания двигателей;
- 4) электромеханическая и электромагнитная совместимость электродвигателей с нагнетателями и сетью при групповой работе ЭГПА в рамках КС на одну магистраль;
- 5) реализация новых методик расчета оптимальных параметров давления, температуры и расхода газа для новых и модернизируемых ЭГПА для анализа реальной работы центробежных нагнетателей как объекта привода;
- 6) программно-аппаратный комплекс встроенной системы непрерывного мониторинга и прогнозирования технического состояния ЭГПА с применением технических средств интеллектуальных датчиков с перспективой перехода к ТОиР по фактическому состоянию;
- 7) обеспечение стабильного и устойчивого функционирования приводного СД ЭГПА во всех возможных режимах работы путем оперативного контроля угла нагрузки машины с помощью бездатчиковой САР возбуждения на базе цифровых тиристорных возбудителей;
- 8) реализация безмасляных и безредукторных технологий на основе систем электромагнитного подвешивания валов и роторов высокоскоростных двигателей и нагнетателей в едином конструктивном исполнении;
- 9) согласование рабочих параметров всех технологических агрегатов КС (нагнетателей, аппарата воздушного охлаждения газа, масла и т.п.) с целью минимизации энергопотребления в рамках каждой КС;
- 10) согласование режимов работы соседних компрессорных цехов с целью оптимизации энергопотребления в рамках ЛПУ МГ и газотранспортного предприятия при различных параметрах газоподдачи и газопотребления;
- 11) снижение экологической нагрузки на природу путем уменьшения выбросов парниковых газов, отработанных масел, шумовых и вибрационных характеристик.

Все отмеченные выше факторы при их системной реализации в рамках КС значительно повышают технико-экономическую привлекательность и конкурен-

госпособность ЭГПА, обеспечивая главные задачи энергоэффективности и безопасности функционирования МГ, а также стабильности, надежности и экологичности транспорта газа.

ПЛАВНЫЙ ПУСК НЕРЕГУЛИРУЕМЫХ ЭГПА

Процесс пуска ЭГПА сопровождается большими бросками тока статора при небольшой кратности электромагнитного момента, что приводит к значительным электродинамическим усилиям в роторе, перегреву и старению изоляции статорных обмоток. Разработанные и прошедшие испытания на КС новые синхронные двигатели серии СДГ-12500-2 контейнерных ЭГПА и СДГМ-12500-2 с учетом своих конструктивных доработок роторов не вносят достаточных изменений в улучшение пусковых характеристик агрегатов. Наиболее кардинальным способом пуска мощных СД является использование полупроводниковых высоковольтных устройств плавного пуска в режимах фазового и квазичастотного пуска [1,4] и преобразователей частоты (ПЧ) [3].

Результаты моделирования и испытаний на КС «Лукояновская» показали:

- при прямом пуске – колебания момента до  $4M_n$  на 50 Гц, ударный ток СД до  $6I_n$ , провал напряжения до 35%;
- при мягком пуске – колебания  $M$  меньше при  $\omega \leq \omega_0$ , ток статора несинусоидален с амплитудой до  $4I_n$ , провал напряжения меньше, но остается;
- при частотном пуске – нет пульсаций  $M$  и тока и ограничений по пускам, ток статора практически синусоидален, провал напряжения  $\leq 7\%$ .

РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И ДАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТА ГАЗА

Режим работы ЭГПА является переменным (квазиустановившимся), поскольку непрерывно изменяются объемы перекачиваемого газа, а также его давление и температура на входе КС. Несмотря на наличие подземных хранилищ газа и дожимных КС, неравномерность подачи и потребления газа, характеризующуюся определенной цикличностью в течение года, месяца и суток, компенсировать и устранить не удастся. Это обусловлено главным образом непредсказуемостью и стохастичностью всех возмущающих факторов режима транспортировки газа, имеющих различную физическую природу. Кроме того, значительное влияние на изменение режима работы КС может оказать и поэтапный ввод в эксплуатацию МГ с постепенным увеличением его пропускной способности, а также изменение давления газа на приеме ЭГПА вследствие изменения пластового давления и появления промежуточных ответвлений. Самым экономичным способом регулирования ЭГПА является использование частотного регулирования скорости синхронного двигателя на базе высоковольтных преобразователей частоты (ПЧ). Это позволяет эффективно обеспечить:

- энергосберегающие режимы работы;
- стабилизацию параметров давления, температуры, подачи газа и уменьшение износа технологического оборудования КС;
- надежность эксплуатации агрегатов и повышение их ресурса при снижении затрат на техобслуживание и

ремонт;

- совместимость, экологичность и интеграцию в рамках АСУ КС.

Основной акцент научных разработок сместился в сторону поиска оптимальных алгоритмов управления и адаптации их к реальным режимам работы КС с помощью инвариантных САР ЭГПА (рис. 3) [1,4]. Инвариантная САР ЭГПА включает в себя: внешние воздействия 1; датчики возмущений 2; блок 3 расчета скорости ГПА 4 в соответствии с заданным давлением газа 5; датчик скорости вращения 6; ПИ-регулятор 7 скорости 8; электропривод 9 ГПА по системе ПЧ-СД; газоперекачивающий агрегат 10; датчик 11 давления газа на выходе 12; сумматор 13.

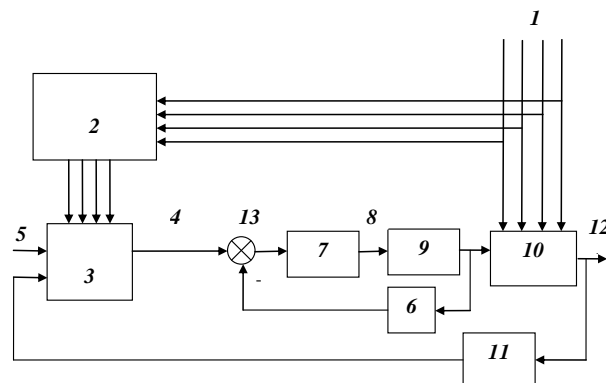


Рис. 3. Инвариантная САР ЭГПА

К настоящему времени создано эффективное комплектное электрооборудование для высоковольтных регулируемых ЭГПА, причем высокая стоимость ПЧ компенсируется эффектом энергосбережения, обеспечивая быструю окупаемость затрат. В настоящее время в рамках модернизации КС «Карталинская» проектируются системы векторного управления ЭГПА мощностью 8,2 МВт ООО «Электротяжмаш-Привод» (Лысьва) с ПЧ фирмы «Converteam».

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ПОДВЕС РОТОРА И ОТСУТСТВИЕ МУЛЬТИПЛИКАТОРА

Основными преимуществами отсутствия подшипников в мощных двигателях ЭГПА являются:

- снижение износа узлов при отсутствии трения;
- отсутствие затрат на смазочные материалы;
- снижение механических потерь энергии;
- возможность работы при воздействии температур, агрессивных сред и влажности;
- хорошая теплоизоляция статора от ротора, улучшая тепловое состояние машины и ресурс;
- создание высокоскоростных безредукторных машин с большим ресурсом;
- значительное сокращение расходов на техобслуживание и ремонт;
- высокий уровень диагностики СД за счет мониторинга электромагнитного подвеса;
- экологическая чистота.

Системы электромагнитного подвеса (ЭМП), разработанные для газотурбинных ГПА, успешно работают на КС «Тольяттинская», «Сызранская», «Помарская», «Пермская». С 1991 года в США, а с 1994 года в Канаде и Англии успешно работают ЭГПА с ЭМП. В ближайшее время в рамках реконструкции планирует-

ся установка нескольких ЭГПА с активным ЭМП мощностью 8,2 МВт на КС «Карталинская» ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург».

ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ И ДИАГНОСТИКИ ЭГПА

Поскольку магистральные газопроводы всегда относились к промышленным объектам повышенной опасности, с каждым годом повышаются требования обеспечения надежности и безаварийности работы всего оборудования. И это обусловлено не только объективными причинами (устаревшее оборудование, ненадежное электроснабжение КС и т.п.), но и наличием «человеческого фактора» при обслуживании. Поэтому работа всех элементов ЭГПА (стоимость которых, к тому же, весьма значительна) должна контролироваться встроенной системой мониторинга и прогнозирования (ВСМП) в режиме *онлайн*. При этом проектирование ее должно вестись параллельно с проектированием систем автоматического управления ЭГПА и диагностики КС в целом.

Традиционные САУ ЭГПА, применяемые на компрессорных станциях магистральных газопроводов ОАО «Газпром», позволяют контролировать основные параметры электродвигателя (ток, напряжение, потребляемую мощность, температуру обмоток статора). Однако в них не заложены *алгоритмы*, позволяющие оценивать эффективность работы электропривода и выдавать эксплуатационному персоналу сообщения об аномальных отклонениях в его работе. Кроме того, на этапе их разработки отсутствовали общий концептуальный подход и единая методологическая основа [1,4] к построению структуры программно-аппаратных средств и алгоритмов оценки состояния и перспектив работоспособности двигателей как наиболее сложного и дорогостоящего элемента ЭГПА.

Разработана новая структура встроенной системы оперативного мониторинга и прогнозирования технического состояния приводного электродвигателя ЭГПА, отличительной особенностью которой является при использовании штатных датчиков возможность реализации нейро-нечетких и математических методов среднесрочного прогноза перспектив эксплуатации агрегата. При этом дополнительными в схеме являются лишь емкостные датчики частичных разрядов (EMC) и датчики внутреннего угла синхронного двигателя

( $E_0U_c$ ). Для контроля интенсивности частичных разрядов в ВСМП использован прибор PD-Track фирмы Iris Power с передачей данных по интерфейсу RS-232.

Разработанная система построена на базе промышленного компьютера MicroPC Octagon Systems. Аналоговые сигналы непосредственно с датчиков поступают на соответствующие платы преобразования, и далее в нормализованном виде сигналы тока и напряжения статорных и роторных цепей, а также напряжений на шинах 10 кВ, температуры меди, стали, холодного и горячего воздуха поступают в интерфейсный порт 5720-01 быстродействующего АЦП с вводом в модуль процессора PC-600. Программа обработки данных хранится во флэш-памяти IGCEД на основе алгоритмов нейро-нечеткой идентификации [1,4].

В результате реализации ВСМП ЭГПА на семи КС ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород» доказана возможность и эффективность применения нейронных сетей и нейро-нечетких алгоритмов при адекватном мониторинге и прогнозировании неисправностей приводных электродвигателей ЭГПА. Нейро-нечеткая сеть, которая использует в качестве входных переменных основные эксплуатационные факторы старения изоляции статорных обмоток СД (температура меди, интенсивность частичных разрядов и уровень перенапряжений в питающей сети), дает возможность с максимальной степенью достоверности идентифицировать неисправности и спрогнозировать их развитие.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Энергосбережение и автоматизация электрооборудования компрессорных станций: монография / под ред. О.В. Крюкова. Н.Новгород: Вектор ТиС, 2010. 560 с.
2. Энергетическая стратегия России на период до 2020 года: Распоряжение Правительства РФ от 28 августа 2003 г. №1234-р.
3. Краснов Д.В., Онищенко Г.Б. Оценка потребности в высоковольтных регулируемых электроприводах переменного тока // Известия ТулГУ. Технические науки. 2010. Вып. 3. Ч. 1. С.73-81.
4. Крюков О.В. Анализ и техническая реализация факторов энергоэффективности инновационных решений в электроприводных турбокомпрессорах // Автоматизация в промышленности. 2010. №10. С.50-53.

INFORMATION IN ENGLISH

ENERGY EFFICIENCY OF ELECTRICALLY DRIVEN GAS PUMPING UNITS

Krjukov O.V.

The features of developing the gas networks in Russia and the working regimes of electric drives of gas pumping units at the compressor stations of main gas pipeline were reviewed. The results of multivariate analysis and comparison of existing technology of turbo-compressors megawatt-class drives by major energy characteristics were described. The existing fleet of electric drives for compressors and data for implementation of the most effective and science-based projects using new principles and control algorithms for technologically related electric driven units were represented. Prospective lines of improving the electric drives of superchargers in the process of upgrading in

triggering modes, regulation and diagnostics for reliability growth and energy efficiency of main gas pipeline growth were offered. Case studies of implementation energy efficiency electric driven gas pumping units at the compressor stations of main gas pipelines in Russia were reviewed.

**Keywords:** compressor station, gas pumping unit, electric drive, frequency regulation, synchronous motor, upgrading, energy saving, energy efficiency.

REFERENCES

1. *Energoberezenije i avtomatizacija elektrooborudovanija kompressornyh stancij: Monografija* [Energy efficiency and automation of compressor stations electrical equipment: monograph]. Edited by Krjukov O.V. Nizhnij Novgorod: Vector TiS, 2010, 560 p.
2. *Energeticheskaja strategija Rossii na period do 2020 goda* [Russia energy strategy for the period until 2020 year]. *Rasporjazhenie Pravitel'stva RF ot 28 avgusta 2003 g. No.1234-r.* [Russian Federation Government decree of August, 28 2003, No.1234-r].
3. Krasnov D.V., Onishhenko G.B. *Otsenka potrebnosti v*

*vysokovol'tnyh reguliruemymykh elektroprivodah peremennogo toka* [Evaluation of high-voltage controlled alternating-current drive necessity]. *Izvestija tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tehnicheskie nauki* [Journal of Tula state university. Technical sciences], 2010, no. 3, vol. 1, pp. 73-81.

4. Krjukov O.V. *Analiz i tehnickeskaja realizacija faktorov energoeffektivnosti innovacionnykh reshenij v elektroprivodnykh turbokompressorah* [Analysis and technical implementation of innovative solutions energy efficiency factors in electric driven turbo-compressors]. *Avtomatizacija v promyshlennosti* [Automation in industry], 2010, no. 10, pp. 50-53.

УДК 621.311

Мугалимов Р.Г., Мугалимова А.Р., Губайдуллин А.Р.

### ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД НА ОСНОВЕ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ИНДИВИДУАЛЬНОЙ КОМПЕНСАЦИЕЙ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ДЛЯ ВОЛОЧИЛЬНЫХ СТАНОВ

Рассматриваются варианты повышения энергоэффективности электроприводов механизмов метизной промышленности. На примере электроприводов волочильных станов исследованы варианты компенсации реактивной мощности. Показано, что наилучшим вариантом повышения энергоэффективности путем компенсации реактивной мощности является вариант создания электроприводов волочильных станов на основе компенсированных асинхронных двигателей.

**Ключевые слова:** энергоэффективность, электропривод, асинхронный двигатель, реактивная мощность, волочильный стан, компенсация реактивной мощности.

ВВЕДЕНИЕ

В метизной промышленности проблемы снижения себестоимости, повышения энергоэффективности и конкурентоспособности продукции являются актуальными. В данной публикации рассматривается задача снижения электропотребления волочильного отделения метизного предприятия. В частности, в системе цехового электроснабжения напряжением 0,4 кВ метизного предприятия отсутствуют компенсаторы реактивной мощности на линиях 6/10 кВ осуществляется не на всех вводах понизительных подстанций. В этой связи цеховые системы электроснабжения перегружены реактивными токами, что ведет к существенным потерям активной мощности и снижению энергоэффективности технологических участков. Потери электрической энергии от реактивных токов составляют не менее 25-40% от общих потерь электроэнергии. Например, в среднем за один год ОАО «ММК-МЕТИЗ» расходует 32 млн кВт·час электроэнергии. Суммарные потери электроэнергии составляют от 18 до 24%, то есть 5-8 млн кВт·ч. Доля потерь электрической энергии от реактивных токов составляет 1,5-3 млн. кВт·ч [1-3].

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ВОЛОЧИЛЬНЫХ СТАНОВ

Для решения обозначенной проблемы поставлены задачи: 1) определение оптимального варианта компенсации реактивной мощности в цеховых электросетях 0,4 кВ; 2) реализация оптимального варианта компенсации реактивной мощности.

Для решения поставленных задач выделили схему электроснабжения одного из волочильных отделений

ОАО «ММК-МЕТИЗ». На рис. 1 приведена схема электроснабжения волочильного цеха.

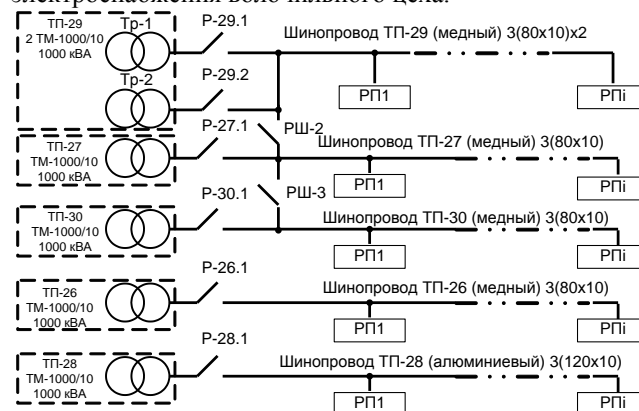


Рис. 1. Схема электроснабжения сталепроволочного отделения

Схема электроснабжения состоит из пяти трансформаторных подстанций (ТП) и пяти шинопроводов с суммарной мощностью установленных асинхронных двигателей  $P_{уст.общ} = 5949,5$  кВт. ТП-29 содержит два трансформатора ТМ-1000/10, ТП-27, ТП-30, ТП-26, ТП-28 – по одному трансформатору ТМ-1000/10. Предусмотрена параллельная работа шинопроводов ТП-29, ТП-27, ТП-30 от четырех трансформаторов. Параллельная или раздельная работа трансформаторов зависит от объема производства и коэффициента использования технологического оборудования ( $K_{и}$ ). В схеме электроснабжения цеха на напряжении 0,4 кВ отсутствуют компенсаторы реактивной мощности (КРМ).

Из приведенной схемы (см. рис. 1) выделили схему электроснабжения участка волочения. Этот участок