

УДК 621.3.016.31

Д.Г. Садиков<sup>1</sup>, Д.С. Мочалин<sup>1</sup>, В.Г. Титов<sup>2</sup>

## ПРИМЕНЕНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ НА КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЯХ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ

ОАО «Гипрогазцентр», Н. Новгород<sup>1</sup>,  
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева<sup>2</sup>

Рассматривается применение преобразователей частоты на компрессорных станциях магистральных газопроводов.

Главным направлением уменьшения потребления электроэнергии на компрессорных станциях (КС) магистральных газопроводов (МГ) на сегодняшний день является внедрение регулируемого электропривода на объектах основной технологии и вспомогательных объектах [1, 2].

### Применение высоковольтных преобразователей частоты

Мощные высоковольтные преобразователи частоты применяются на КС в составе электроприводных газоперекачивающих агрегатов (ЭГПА). В состав ЭГПА такого типа входят следующие основные узлы:

- высокоскоростная, высоковольтная асинхронная машина;
- преобразователь частоты (далее ПЧ);
- согласующий трансформатор (один или несколько);
- система магнитного подвеса ротора электродвигателя и центробежного нагнетателя;
- агрегатная система автоматического управления (САУ).

При реконструкции и новом строительстве КС применяются современные типы ЭГПА, производимые как у нас в стране, так и за рубежом, которые в полной мере обеспечивают выполнение требований по энергетическим и пускорегулировочным характеристикам, обеспечению высокой надежности, ремонтпригодности и безаварийности работы основных узлов.

Самым экономичным способом плавного автоматического регулирования скорости вращения и производительности ЭГПА является использование преобразователей частоты для плавного автоматического регулирования скорости приводного двигателя. Это позволяет наиболее эффективно обеспечить:

- энергосберегающие режимы, так как центробежный нагнетатель (ЦБН) получает от сети ровно столько энергии, сколько нужно для оптимальной работы с максимальным КПД;
- стабилизацию параметров давления, температуры, подачи газа;
- надежность эксплуатации агрегатов и их ресурс при снижении затрат на ТОиР;
- экологичность, электромагнитную совместимость и интеграции в АСУТП КС.

Для эксплуатации высокооборотного асинхронного электродвигателя специального исполнения необходим ПЧ с выходной частотой не менее 100-150 Гц [3].

Высокая стоимость ПЧ практически не сдерживает широкое промышленное использование их, так как эффект энергосбережения обеспечивает быструю окупаемость первичных капитальных затрат. Маркетинговые исследования компании IMS Research в области силовой электроники показывают, что мировой объем продаж высоковольтных ПЧ в 2011 г. составил более \$21 млрд, превысив аналогичные показатели 2010 г. на 6%. Прогнозируется и дальнейший рост объемов продаж высоковольтных ПЧ на в период с 2013 по 2016 г. при удельной стоимости \$200-400 на кВт [4].

### Конструктивные особенности высоковольтных преобразователей частоты

В качестве элементной базы ПЧ используются силовые полупроводниковые приборы: тиристоры типа GCT, IGCT, SGST; биполярные транзисторы с изолированным затвором IGBT. Современные мощные IGBT транзисторы и модули на их основе позволяют создавать инверторы средней и большой мощности в соответствии с приведенной классификацией [5].

Таблица 1

#### Сравнительные характеристики преобразователей частоты различных заводов-изготовителей

Фирма / Показатели	ABB		Siemens		Alstom (Converteam)
1	2		3		4
Серия	ACS 1000i	ACS 5000	Sinamics GM 150	Perfect Harmony	MV 7000
Выходное напряжение, В	2200, 3300, (6000 - с вых. тр-ром)	6000, 6600, 6900	3300, 6000, 6600, 7200	3300, 6000, 6600, 10 000, 13 800	3300, 6600, 10000
Мощность, кВт	315...5000	4400...20 500	600...10 000	300...17 500	4200...33600
Диапазон изменения выходной частоты, Гц	0...66 (200)	0...75	0...250	0...60 (250)	0...150
Схема преобразователя (стандартное исполнение)	12(24)-пульсный НВ, АИН по схеме NPC с выходным LC-фильтром	36-пульсный НВ, АИН по схеме NPC на каждую фазу	12(24)-пульсный НВ, АИН по схеме - 3-уровневый NPC (опция выходной LC-фильтр)	Многообмот. трансформ. с последоват. соединением IGBT - АИН в фазе	12,(24)-пульсный НВ (AFE - опция), АИН на IGBT по схеме - 3-уровневый NPC с ШИМ
КПД, %	98 (без тр-ра)	> 98,5 (без тр-ра)	98,5 (без тр-ра)	96 (с тр-ром)	99
Входной коэффициент мощности	0,96	> 0,96	0,96	0,96	≥0,96 (1 при AFE)
Тип силовых полупроводниковых приборов	Диоды — НВ, IGCT - АИН	Диоды - НВ, IGCT-АИН	Диоды — НВ, АИН -IGBT и IGCT	Диоды — НВ, IGBT - АИН	Диоды — НВ, АИН -IGBT
Принцип коммутации в инверторе	Трехуровневый ШИМ	Многоуровневый/ (9-уровневый) ШИМ	Трехуровневый ШИМ	Многоуровневый ШИМ (Multi-Level PWM)	Трехуровневый ШИМ
ТНД сетевой, %;	5,2% (напр.) 6,5 % (ток) для Хисточн = 5,75%	1,5%( напр.) 1,0% (ток)	5,2% (напр.) 6,5% (ток) для Хисточн = 5,75%	1,2% (напр) 0,8% (ток) для Хисточн = 5,75%	5,2% (напр.) 6,5 % (ток) для Хисточн = 5,75%
ТНД нагрузки, %	≤ 5% с выходным sin-фильтром	<5%	≤ 5% с выходным sin-фильтром	< 2,5%	<5%
Фирма / Показатели	Allen-Bradley	Mitsubishi	General Electric	Toshiba	Фирма / Показатели
Серия	PowerFlex 7000	MELTRAC-F500HV	TM Drive	Innovation MV	Toshvert MV
Выходное напряжение, В	2400, 3300, 4160, 6600	3300, 6600	3300/3000, 6600/6000	3300,4160, 6600,10000	3300, 6000
Мощность, кВт	300... 6340	500... 6600	250... 7700	2000...12 500	500... 5450
Диапазон изменения выходной частоты, Гц	0...75	0...50 (60)	0...50 (60)	0...60	0...60 (120)
Схема преобразователя	6 (18)-пульсный УВ AFE, АИТ с ШИМ	Многообмот. трансформатор 18,36,54-пульсный НВ и IGBT - АИН в фз	Многообмот. трансформ. 18-пульсный НВ и IGBT - АИН в фазе	6-пульсный УВ с IGCT -ШИМ. АИН с IGCT -ШИМ и выходным LC-фильтром	Многообмот. трансформ. 18, 30 и 36-пульсный НВ и IGBT - АИН, AFE —опция
КПД, %	98,0 (без тр-ра)	98 (с тр-ром)	97,0 (с тр-ром)	97,5	97,6 (с тр-ром)
Входной коэффициент мощности	0,96 (18-пул.)	0,96	0,95	0,98...1,0	0,95
Тип силовых полупроводниковых приборов	Тир-ры — УВ. SGCT - АИТ	Диоды — НВ, IGBT - АИН	Диоды — НВ. IGBT - АИН	IGBT - УВ и АИН	Диоды, IGBT – НВ, IGBT - АИН
Принцип коммутации в инверторе	ШИМ с избир. подавлением высших гармоник	Многоуровневый ШИМ (Multi-Level PWM)	Многоуровневый ШИМ (Multi-Level PWM)	Комбиниров. ШИМ (Multi-Level PWM bridge topologies)	Многоуровневый ШИМ (Multi-Level PWM)

Окончание табл. 1

1	2	3	4	
ТНД сетевой, %;	≤3,5% (напр.), ≤3%(ток)– для 18-пульсного выпрямителя	1,2% (напр) 0,8% (ток) для Хисточн = 5,75%	1,2% (напр) 0,8% (ток) для Хисточн = 5,75%	≤3,5% (напр.) 5,5% (ток) для Хисточн = 5,75%
ТНД нагрузки, %	≤5%	<5%	<5%	<3%

Сравнительные характеристики ПЧ различных фирм производителей представлены в табл. 1 [6, 7].

Для регулирования скорости вращения и производительности ЭГПА наибольшее распространение получили ПЧ, построенные по различным вариантам топологии двухзвенного автономного инвертора напряжения (АИН).

Для улучшения формы и гармонического состава выходного тока ПЧ в составе ЭГПА применяются трехуровневые АИН. Идея многоуровневой топологии заключается в делении напряжения в звене постоянного тока на конденсаторах и последовательном включении групп полупроводниковых ключей на транзисторах или тиристорах с комбинированным управлением. При этом вдвое уменьшается величина коммутируемого напряжения и достигается улучшение формы выходного напряжения, что сокращает мощность выходного фильтра. На базе трехуровневой топологии производятся ПЧ таких фирм, как АВВ (серия ACS1000 напряжением до 4160 В на IGCT тиристорах), Siemens (серии SimoverMV, Sinamics GM 150 и Sinamics SM 150 на IGCT и IGBT), Convertteam (тип MV7000 на IGBT). Один из вариантов данной топологии представлен на рис. 1.

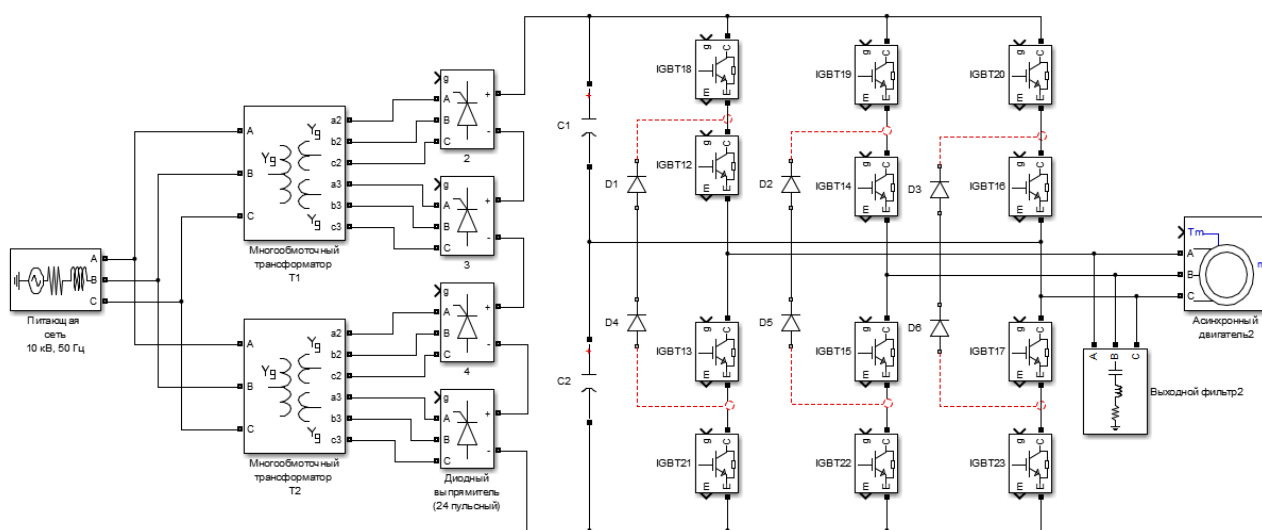
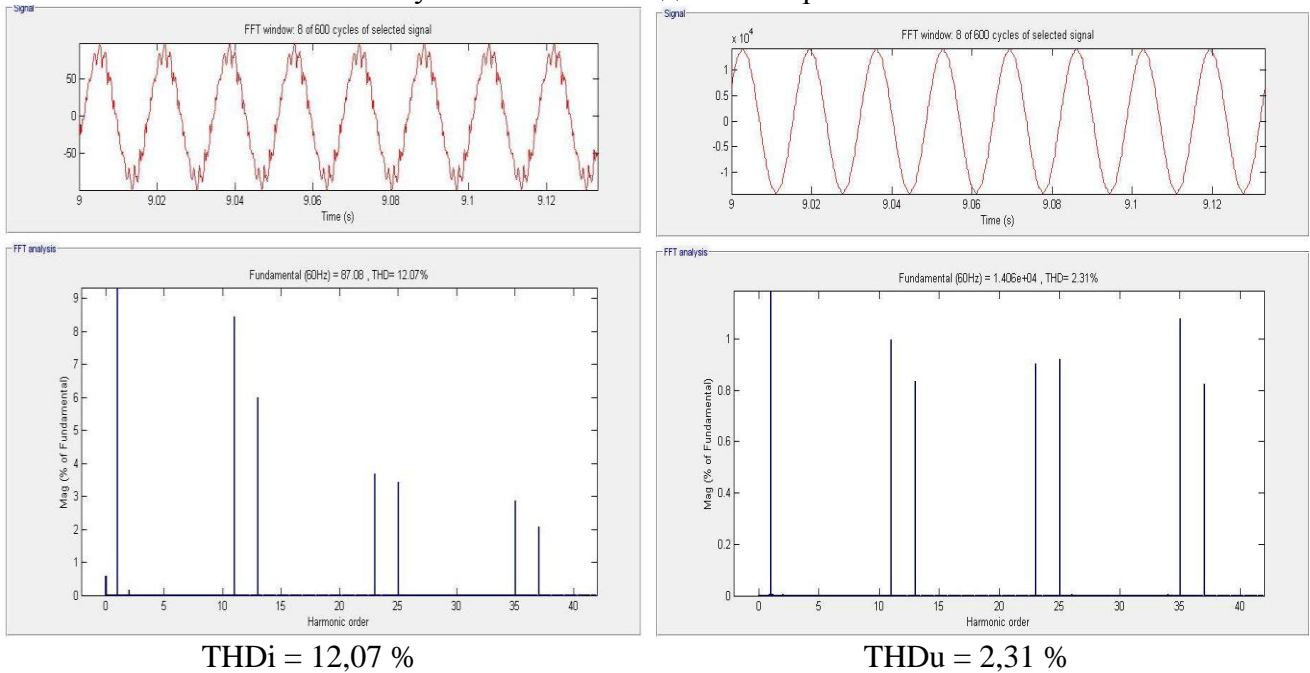


Рис. 1. Структурная схема двухзвенного трехуровневого АИН (24-пульсная схема выпрямления)

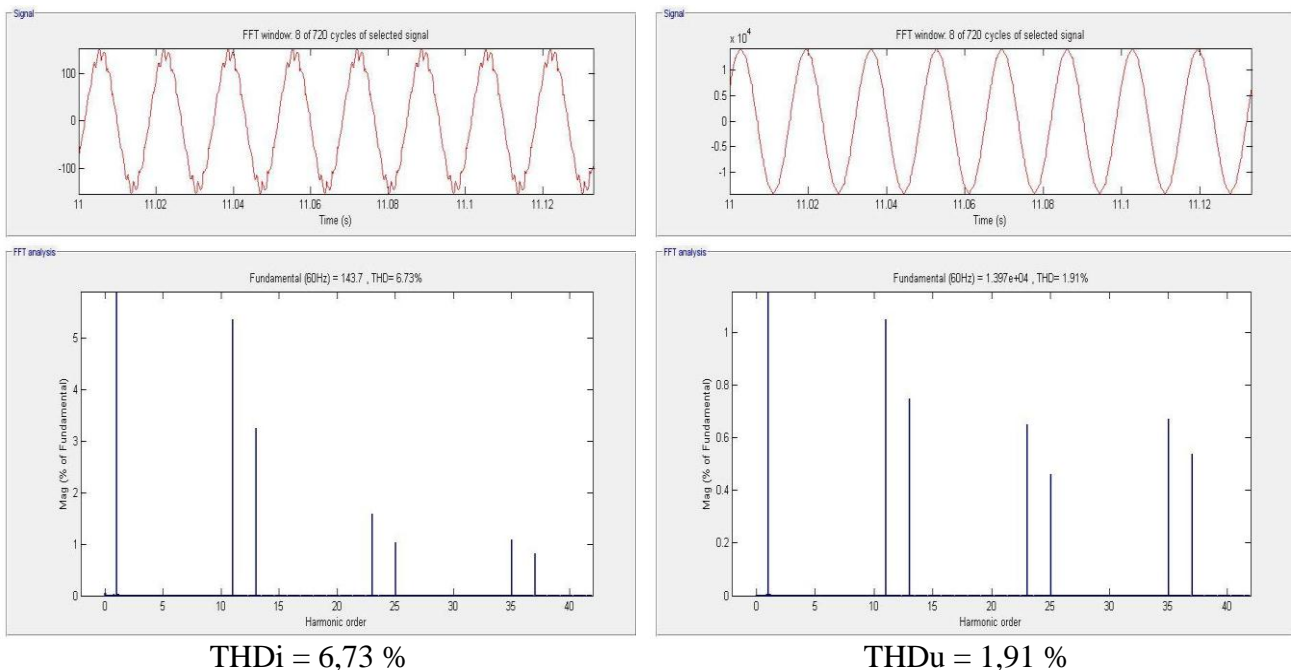
Для улучшения гармонического состава входного тока и напряжения, обеспечения требований электромагнитной совместимости (ЭМС) и обеспечения показателей качества электроэнергии на шинах ЗРУ-10 кВ в рамках ГОСТ 13109-97 применяется увеличение "пульсности" входного выпрямителя. Для этого на входе ЭГПА устанавливаются один или несколько согласующих трансформаторов с расщепленной вторичной обмоткой к которым подключены несколько неуправляемых выпрямителей, соединенных последовательно (рис. 1).

Анализ гармонического состава входного тока и напряжения двухзвенного трехуровневого АИН при 12- и 24- пульсной схеме выпрямления на входе представлен на рис. 2.

## 12-пульсная схема входного выпрямителя



## 24-пульсная схема входного выпрямителя



**Рис. 2. Форма и гармонический состав входного тока и напряжения двухзвенного трехуровневого АИН при 12- и 24-пульсных схемах входных выпрямителей**

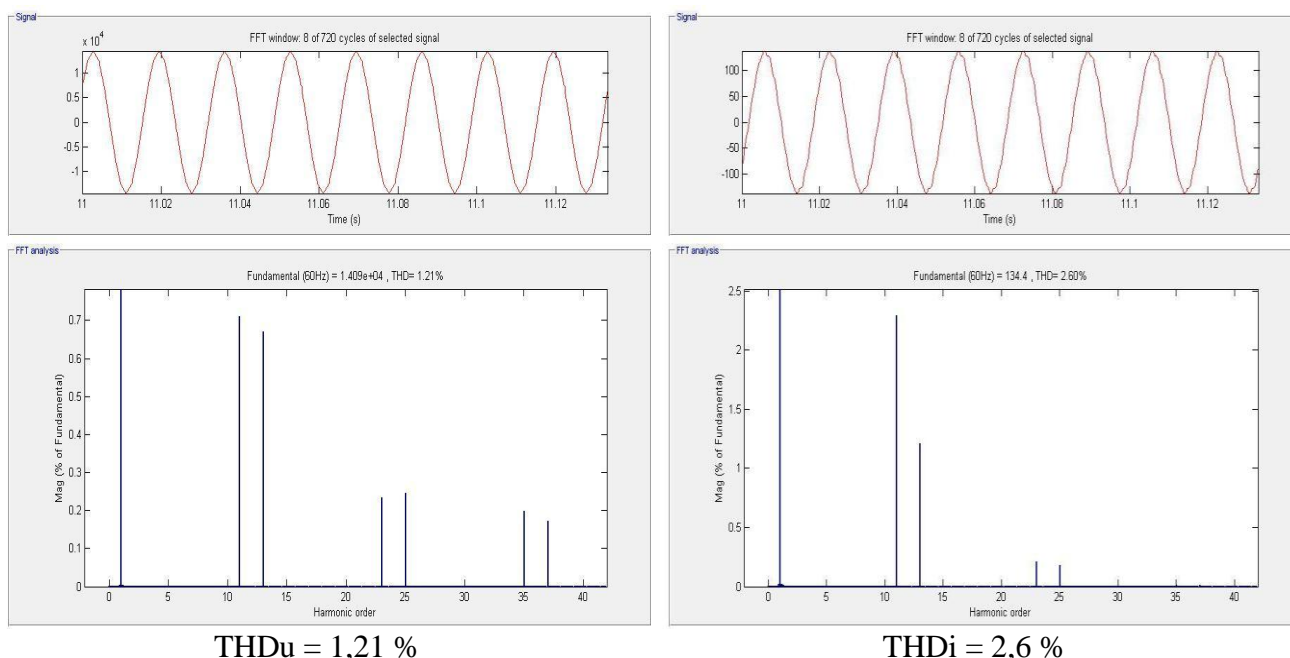
Как видно из рис. 2, с увеличением "пульсности" схемы выпрямления значительно улучшается гармонический состав входного тока и напряжения ПЧ, что позволяет отказаться от применения фильтров для обеспечения показателей качества электроэнергии, согласно требованиям ГОСТ 13109-97, и избежать дополнительных финансовых затрат.

Дальнейшее увеличение уровней выходного напряжения ПЧ достигается при использовании многоуровневой (Multilevel, [8]) топологии АИН. Основным достоинством таких преобразователей является практически синусоидальная форма выходного тока и напряжения, что позволяет отказаться от установки выходных фильтров и обеспечить совместимость со стандартными общепромышленными асинхронными двигателями. Такие преобразователи выпускают фирмы АВВ

(серия ACS5000 на IGCT), Siemens (серия Perfect Harmony на IGBT), Mitsubishi (серия MELTRAC-F500HV на IGBT), Toshiba (серия Toshvert MV) и General Electric (серия TM Drive на IGBT).

Деление напряжения, с целью повышения числа уровней, производится посредством многообмоточного входного трансформатора. Преобразователь на 6 кВ содержит 15 однофазных ПЧ, каждый с максимальным выходным напряжением 690 В. Силовая ячейка – инвертор напряжения питается трехфазным напряжением от отдельных обмоток трансформатора, соединенных в треугольник. Пять инверторов по выходу соединены последовательно, образуя фазу выходного напряжения с максимальным напряжением 3450 В. Линейное напряжение на выходе ПЧ будет 6000 В.

Такое схемное решение за счет многократно увеличенного числа пульсаций входного напряжения путем последовательного соединения выпрямительных ячеек на входе сводит к минимуму эмиссию высших гармоник в питающую сеть. Также за счет этого полностью обеспечиваются требования электромагнитной совместимости (ЭМС) без применения дополнительных фильтров или активного компенсационного выпрямителя на входе ПЧ [9, 10]. Анализ гармонического состава входного тока и напряжения многоуровневого АИН представлен на рис. 3.



**Рис. 3. Форма и гармонический состав входного тока и напряжения многоуровневого АИН**

Еще одно достоинство преобразователей, построенных по многоуровневой топологии – высокая надежность. При выходе из строя одной или нескольких ячеек, ПЧ сохраняет свою работоспособность за счет автоматического шунтирования неисправных модулей и корректировки режима работы оставшихся ячеек системой автоматического управления. Выходная мощность при этом несколько снижается.

Многоуровневая схема построения высоковольтных ПЧ является перспективной для применения в составе ЭГПА. Работы в этом направлении позволят значительно улучшить энергетические характеристики агрегата и увеличить надежность всей системы в целом.

### **Применение низковольтных преобразователей частоты на примере аппаратов воздушного охлаждения газа**

Начиная с 2000 г. в ОАО «Газпром» вопросы энергоэффективности и энергосбережения являются приоритетным направлением деятельности, и представляют собой комплекс

программных мер, направленных на рациональное использование и экономию расхода топливно-энергетических ресурсов.

Прогнозирование и планирование электропотребления на компрессорной станции является неотъемлемой частью экономии потребления топливно-энергетических ресурсов. Основными потребителями электроэнергии на компрессорной станции с газотурбинными газоперекачивающими агрегатами являются электродвигатели с короткозамкнутым ротором: маслонасосов, пожарных насосов, компрессоров, вентиляторов общеобменной вентиляции, вентиляторов воздушного охлаждения газа и запорно-регулирующей аппаратуры.

Анализ величины расхода электроэнергии показывает, что основным потребителем электроэнергии на компрессорной станции с газотурбинными перекачивающими агрегатами и в газотранспортной системе в целом является электропривод аппарата воздушного охлаждения газа. Охлаждение газа является наиболее энергоемким процессом (от 22 и до 48 % расхода электроэнергии на компрессорной станции с газотурбинными перекачивающими агрегатами [11, 12]).

В данной работе предлагается рассмотреть технико-экономическое сравнение вариантов построения схем электроснабжения аппаратов воздушного охлаждения (АВО) газа.

Электроснабжение АВО газа выполняется по радиальной схеме: комплектная трансформаторная подстанция – распределительное устройство низкого напряжения – шкаф питания и управления электродвигателем вентилятора аппарата воздушного охлаждения газа.

Построение схемы электроснабжения АВО газа осуществляется на основании СТО Газпром 2-6.2-149-2007 «Категорийность электроприемников промышленных объектов ОАО «Газпром», питание АВО газа осуществляется по второй категории надежности электроснабжения.

Также в работе рассматриваются варианты построения схемы электроснабжения и управления электродвигателями вентиляторов аппаратов воздушного охлаждения газа:

- частотный регулируемый привод (ЧРП) на каждый двигатель вентилятора в аппарате воздушного охлаждения газа;
- плавный пуск на каждый двигатель вентилятора аппарата воздушного охлаждения газа;
- комбинированный способ управления – ЧРП на два двигателя вентиляторов и плавный пуск остальных двигателей [13, 14].

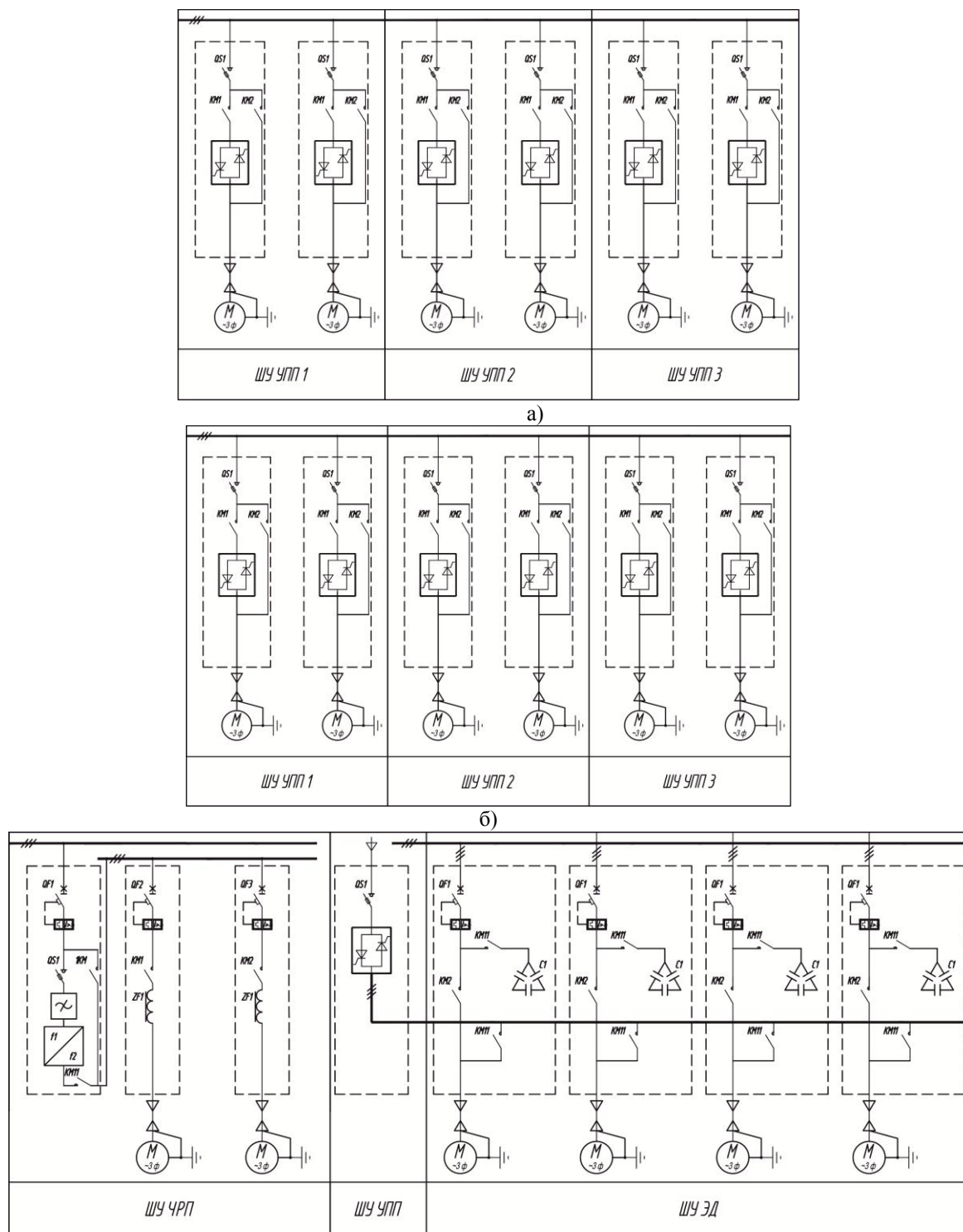
Прямой пуск асинхронного двигателя в работе не рассматривается, так как прямой пуск ведет к большим колебаниям сети, уменьшает возможность запуска нескольких электродвигателей вентиляторов АВО газа одновременно, большие пусковые токи уменьшают ресурс коммутационной аппаратуры.

Пуск асинхронных короткозамкнутых двигателей прямым подключением к сети сопровождается большим пусковым током, превышающим номинальное значение в несколько раз. Момент двигателя при прямом пуске также может достигать значений, существенно превышающих номинальное. Это приводит к большим нагрузкам как на приводимый в действие механизм, так и на питающую сеть. Для ряда механизмов требуется плавное увеличение или уменьшение момента двигателя в процессе разгона, замедления или торможения. Для решения этой проблемы используются специальные пусковые устройства, позволяющие снизить пусковой ток и момент двигателя.

Рассмотрены структурные схемы электроснабжения УВОГ с различными системами управления, исключающие прямой пуск двигателя:

- плавный пуск электропривода вентилятора АВО газа (рис. 4, а);
- частотно-регулируемый приводом вентилятора АВО газа (рис. 4, б);
- комбинированный способ управления - устройство плавного пуска и частотный регулируемый привод (рис. 4, в).

Далее представлены структурные схемы электроснабжения и управления электродвигателями аппаратов охлаждения газа.



Условные обозначения, принятые на однолинейной электрической схеме:

- защита по перегрузке
- максимальная токовая защита

в)

**Рис. 4. Структурные схемы электроснабжения АВО газа с модулями плавного пуска (а), с частотно-регулируемым приводом (б), с частотно-регулируемым приводом и устройством плавного пуска (в)**

1. Применение УПП позволяет: ограничить пиковые механические нагрузки как двигателя, так и механизма; выполнить мягкий, без толчков пуск; ограничить пусковой ток; повысить коэффициент мощности; экономить энергию при работе двигателя в ненагруженном

режиме; исключить пики тока при переключении; отказаться от контакторов, либо производить коммутацию контакторов в отсутствие тока.

2. Индивидуальное частотное регулирование привода позволяет осуществлять более гибкое (по сравнению с групповым и дискретным) управление процессом охлаждения на всей теплообменной поверхности без вмешательства оператора.

Использование частотных регуляторов обеспечивает плавные пуски электродвигателей, которые устраняют пусковые токи и перегрузки, что дает возможность увеличить ресурс двигателей, а также снизить потребление электроэнергии.

Следует также отметить, что использование частотных регуляторов обеспечивает автоматическое поддержание заданной температуры газа с высокой точностью (не ниже 0,2 °С). Кроме того, за счет использования всей теплообменной поверхности в процессе охлаждения достигается более равномерное распределение тепловых нагрузок по аппарату.

Достоинствами применения ЧРП также являются: полное использование поверхности теплообмена; сокращение периодических прямых пусков асинхронных двигателей от сети, что повышает их ресурс; экономия потребляемой электроэнергии; защита и постоянный мониторинг параметров работы каждого отдельного электродвигателя и диагностирование состояния подводящей сети; возможность контроля сопротивления изоляции подводящих кабелей; возможность автоподстройки ЧРП в соответствии с индивидуальными характеристиками электродвигателей; своевременное автоматическое отключение электродвигателей при возникновении аварийных и предаварийных ситуаций.

Применение индивидуальной системы частотного регулирования характеризуется минимальным количеством коммутационного оборудования, что определяет высокую эксплуатационную надежность системы, простоту и удобство ее обслуживания.

3. Комбинированная система управления – устройство плавного пуска и частотно-регулируемый привод вентилятора – совмещает в себе все положительные качества УПП и ЧРП, которые были отмечены ранее. Данную систему управления целесообразно использовать при оборудовании АВО газа ЧРП примерно 20%.

Таблица 2

**УВОГ-1 (12 АВО газа в каждом по шесть АД)**

	Схема построения	Количество, шт.	Стоимость одного шкафа управления (без НДС), руб.	Общая стоимость, руб.
Вариант 1	ШУ с ЧРП на каждый двигатель	12	5 796 000	69 552 000
Вариант 2	ШУ с ЧРП на пару двигателей	12	6 116 000	73 392 000
Вариант 3	ШУ с УПП	12	3 564 000	42 768 000
Вариант 4	ШУ с УПП и ЧРП	12	3 390 000	40 680 000

Таблица 3

**УВОГ-2 (15 АВО газа в каждом по шесть АД)**

	Схема построения	Количество, шт.	Стоимость одного шкафа управления (без НДС), руб.	Общая стоимость, руб.
Вариант 1	ШУ с ЧРП на каждый двигатель	15	5 796 000	86 940 000
Вариант 2	ШУ с ЧРП на пару двигателей	15	6 116 000	91 740 000
Вариант 3	ШУ с УПП	15	3 564 000	53 460 000
Вариант 4	ШУ с УПП и ЧРП	15	3 390 000	50 850 000



Комбинированный способ управления также позволяет: эффективно регулировать технологические параметры; экономить электроэнергию; при этом, кроме эффективного и экономичного регулирования, снижать общую аэродинамическую нагрузку вентилятора и механизмов привода.

Проанализируем стоимость применяемого оборудования на УВОГ при различных вариантах построения систем воздушного охлаждения газа.

Стоимость применяемого оборудования на УВОГ при различных вариантах построения систем воздушного охлаждения газа представлена в табл. 2, 3.

Данные расчеты по ценовым показателям без оценки стоимости коммутационной аппаратуры, стоимость в каждом варианте принимается одинаковой.

Также мы не учитывали применение асинхронных двигателей специальной конструкции на АВО газа с ЧРП (дополнительно устанавливается датчик температуры и вентилятор охлаждения), так как при уменьшении частоты вращения, увеличивается нагрев обмоток АД, появляется вибрация, снижение частоты вращения должно быть не менее 20-30 % от номинального.

Проведен анализ алгоритма работы УВОГ-1 и УВОГ-2 на дожимной компрессорной станции и режим работы установок охлаждения газа по годам (рис. 5).

Проведен анализ алгоритма работы УВОГ-1 и УВОГ-2 на дожимной компрессорной станции и режим работы установок охлаждения газа по годам (рис. 5). Применения ЧРП на стороне 0,4 кВ необходимо выполнять после анализа вариантов построения схем электроснабжения и алгоритмов регулирования АВО газа. В нашем случае алгоритм регулирования АВО газа выполняется в три ряда, в основном задействуется первый ряд как в летний, так и в зимний режим работы. Остальные два ряда асинхронных двигателей включаются по мере необходимости. Из чего следует, что наиболее предпочтительным является Вариант 4 – комбинированное управление асинхронными двигателями на АВО газа, приоритетным для данного проекта: 1 ряд – ЧРП; 2 ряд – устройство плавного пуска; 3 ряд – устройство плавного пуска.

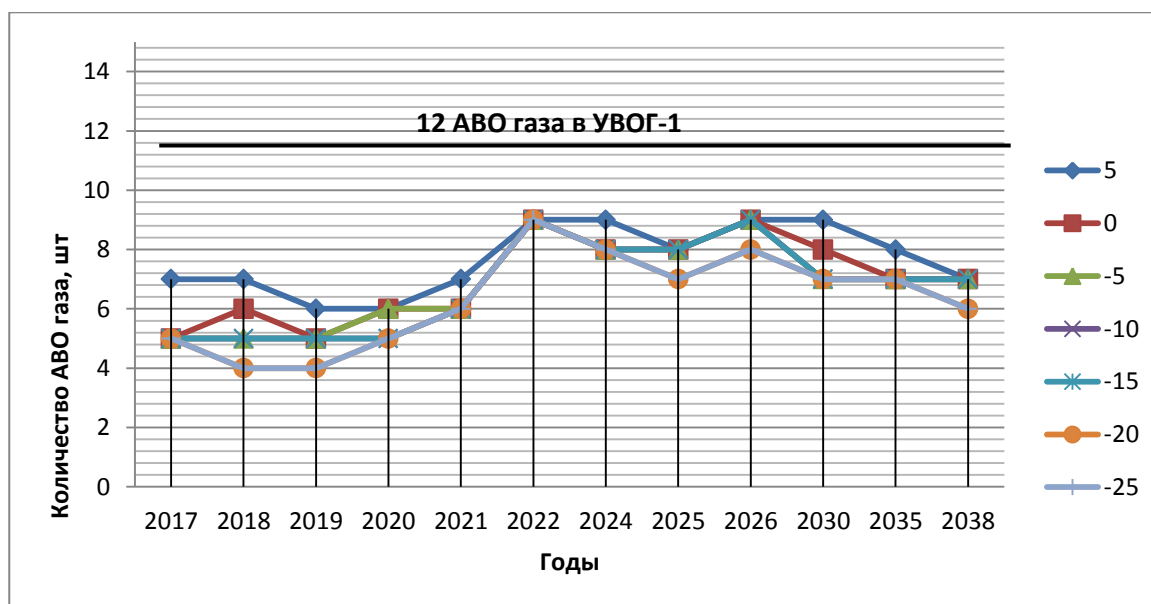


Рис. 5. Количество работающих АВО газа в УВОГ-1 с учетом температуры «точки росы» (зимний режим)

### Заключение

Из рассмотренных топологий построения силовой части высоковольтных ПЧ различных заводов-изготовителей на сегодняшний день в составе ЭГПА применение находят схемы двух или трехуровневого АИН.

Многоуровневая схема построения высоковольтных ПЧ является перспективной для применения в составе ЭГПА. Работы в этом направлении позволят значительно улучшить энергетические характеристики агрегата и увеличить надежность всей системы в целом.

Так, применения ЧРП на стороне 0,4 кВ необходимо выполнять после анализа вариантов построения схем электроснабжения и алгоритмов регулирования АВО газа. В нашем случае алгоритм регулирования АВО газа выполняется в три ряда, в основном задействуется первый ряд, как в летний, так и в зимний режим работы. Остальные два ряда асинхронных двигателей включаются по мере необходимости.

И предпочтительным является Вариант 4 - комбинированное управление асинхронными двигателями на АВО газа, приоритетным для данного проекта: 1 ряд – ЧРП; 2 ряд – устройство плавного пуска; 3 ряд – устройство плавного пуска.

### Библиографический список

1. **Крылов, Д.А.** Проблемы и перспективы использования электроэнергии в газотранспортной системе ОАО «Газпром» // Энергонадзор и энергобезопасность. 2006. №1. С. 37–45.
2. **Костенко, Д.А.** Вопросы реконструкции компрессорных станций Украины / Д.А. Костенко, В.П. Парафейник, А.В. Смирнов // Компрессорное и энергетическое машиностроение. 2009. № 4 (18). С. 8–13.
3. **Зипманн, В.** Модернизация компрессорных станций с использованием электроприводов: монография / В. Зипманн / Werner Siepmann. – Berlin, 2005. – 125 с.
4. **Eden, R.** The world market for semiconductors in AC-DC & DC-DC merchant power supplies-2012 Edition // IMS Research, Power & Energy, 2012 – Режим доступа: [http://www.imsresearch.com/admin/download\\_files.php?type=report&value=3248\\_semiconductors\\_in\\_merchant\\_power\\_supplies\\_world\\_2012\\_brochure.pdf](http://www.imsresearch.com/admin/download_files.php?type=report&value=3248_semiconductors_in_merchant_power_supplies_world_2012_brochure.pdf) (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. англ.
5. **Чивенков, А.И.** Расширение функциональных возможностей инвертора напряжения систем интеграции возобновляемых источников энергии и промышленной сети / А.И. Чивенков [и др.] // Инженерный вестник Дона. 2013. №1. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1564> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.
6. **Лазарев, Г.Б.** Частотно-регулируемый электропривод насосных и вентиляторных установок // Силовая электроника. 2007. №3. С. 41–48.
7. Энергоснабжение и автоматизация энергооборудования компрессорных станций: монография / А.Ф. Пужайло [и др.]; под ред. О.В. Крюкова. – Н. Новгород: Вектор ТиС, 2011. – 664 с.
8. **Leon, M.** Tolbert, Thomas G. Habetler Novel multilevel inverter carrier-based PWM method // IEEE Transactions on industry applications. V. 35. №. 5. september/october 1999 – Режим доступа: <http://web.eecs.utk.edu/~tolbert/publications/tiasep99.pdf> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. англ.
9. **Колпаков, А.** Алгоритмы управления многоуровневыми преобразователями / А. Колпаков, Е. Карташев // Силовая электроника. 2009. №2. С. 57–65.
10. **Титов, В.Г.** Управление энергосберегающими полупроводниковыми преобразователями / В.Г. Титов [и др.] // Инженерный вестник Дона. 2013. №4. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/1909> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

Дата поступления  
в редакцию: 29.04.2014

D. Sadikov<sup>1</sup>, D. Mochalin<sup>1</sup>, V. Titov<sup>2</sup>

## USING A FREQUENCY CONVERTER ON A COMPRESSOR STATION OF THE MAIN GAS PIPE LINE

JSC «Giprogazcenter», N. Novgorod<sup>1</sup>,  
Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev<sup>2</sup>

The article considers the design of modern electrically driven gas-pumping unit (EGPU). Provides an analysis of options for building the power part of the high-voltage frequency converters, used in the composition of the EGPU at compressor stations of main pipelines. Compare the characteristics of frequency converters of various manufacturers. Defined the most optimal scheme of the power part of frequency converters. The present article considers the results of research of the harmonic composition of the current and voltage consumed by frequency converters. Considered the influence of frequency converters on the power supply grid. Analysis method of suppression of higher harmonics.

The processes happening in system of power supply of the electric drive of the air cooled heat exchanger of gas are considered. The analysis of optimizing algorithms of work system of power supply of the electric drive of the air cooled heat exchanger of gas.

*Key words:* frequency converter, power supply grid, harmonics, filter, electromagnetic compatibility, compressor station; electric drive of the air cooled heat exchanger of gas are; mathematical model; the automated frequency and adjustable electric drive, the automated electric drive.