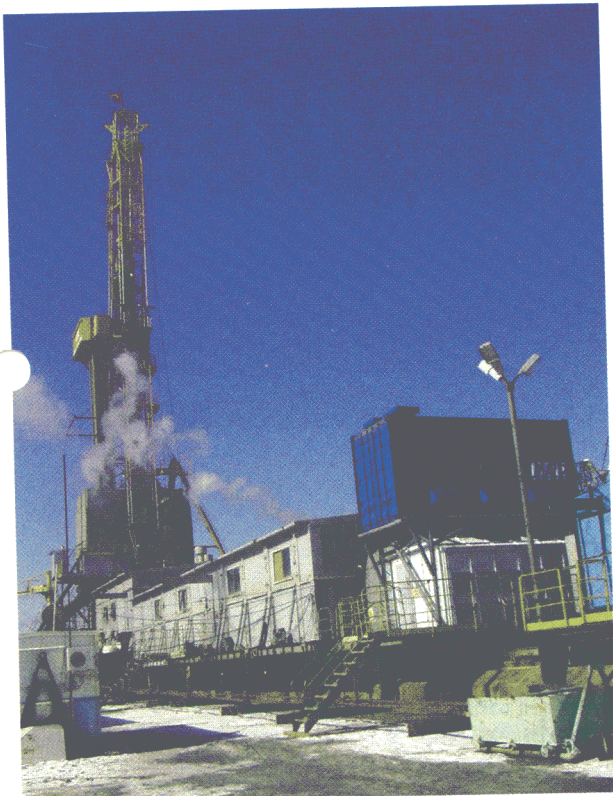


# Оптимизация работы автономной системы энергоснабжения бурового куста

С.А. Шишкин, канд. тех. наук



Современное развитие нефтегазовых промыслов отличает все большее их удаление от энергетических и транспортных центров, ужесточающее требование к рациональному использованию энергии топлива автономных электростанций. В

то же время, особенности электропотребления при разведочном бурении скважин, где составляющая энергозатрат достигает порядка 7...10% себестоимости проходки, предъявляет специфические требования к системе электроснабжения (СЭС) по условию энергосбережения. В результате фазового сдвига и искажения синусоидальности тока нелинейной нагрузкой, обусловленного применением электротехнологического оборудования, преобразующего электрическую энергию с помощью дискретной коммутации ключевых вентильных элементов (различного типа преобразователей), в распределительную сеть СЭС генерируются реактивная мощность (РМ) и мощность искажения, снижающие энергетические показатели привода производственных механизмов. Как известно, одним из способов повышения энергоэффективности подобных СЭС является использование быстродействующих фильтрокомпенсирующих установок (ФКУ), одновременно осуществляющих компенсацию РМ и частичное, соответствующее коэффициенту частотной расстройки ступеней регулирования, подавление гармоник [1].

Рассмотрим условия выбора ФКУ на конкретном примере энергетического комплекса буровой установки – БУ 4500/270, электроснабжение которой осуществляется от 6-ти дизель-генераторов (ДГ) Perkins-800 суммарной мощностью 4800 кВт (6х800 кВт), причем около 80% электроэнергии потребляется в преобразованном виде. Согласно паспортным данным, минимально допустимый коэффициент загрузки ДГ  $k_3=0,4...0,5$ . В режиме ожидания загрузки до указанного значения  $k_3$  и на время синхронизации генераторов в СЭС вводится блок регулирования мощности (БРМ) – сборка параллельных групп активных сопротивлений, необходимый также для устранения перехода генераторов в двигательный режим – “гашения” энергии рекуперативного торможения двигателей лебедки при спуске буровой колонны (табл.3). Отметим, что установленное на стороне 6,3 кВ штатное ФКУ-6-1359У1 отключено, поскольку в СЭС рассматриваемого комплекса не обеспечивается мощность КЗ (не менее 30 МВА), регламентируемая

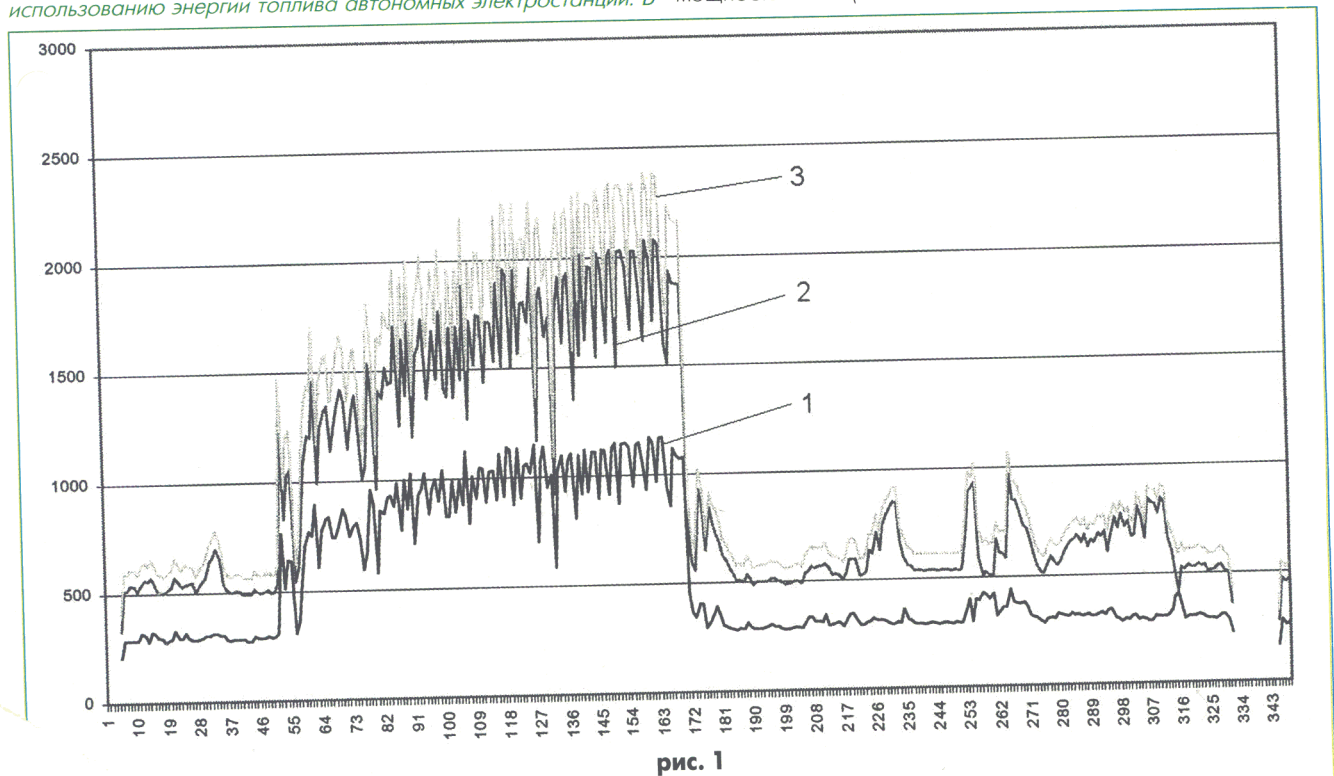
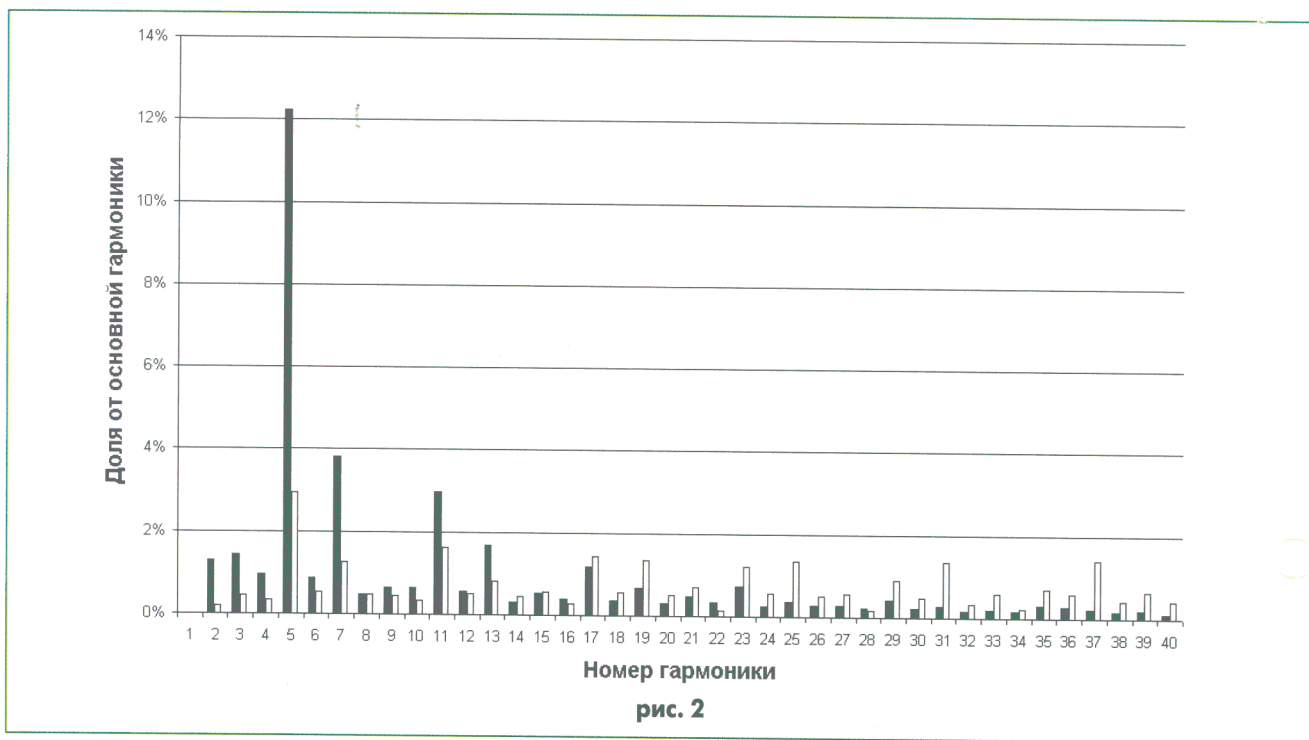


рис. 1



предприятием-изготовителем для его эксплуатации. Снятый измерительной системой ION Enterprise вводной ячейки распределительной линии 6,3 кВ график электропотребления БУ за цикл (147 ч) проводки скважины показан на **рис.1**, где обозначены средние значения мощности: 1 – активной (кВт); 2 – реактивной (квар); 3 – полной (кВА).

Промежутки времени 1...7 и 331...343 соответствуют полному отключению БУ; 7...51 и 172-331 – работе БРМ (нагрузка главного привода отсутствует); 51...172 – режиму бурения. Средневзвешенное значение коэффициента мощности ( $\cos\varphi$ ) – 0,52 эквивалентно потреблению 1,62 квар РМ на 1 кВт активной (рис.1). Расчетная максимальная активная и РМ режима бурения – 1760 кВт и 1980 квар, следовательно, для обеспечения работы БУ требуется параллельная работа 4-х ДГ. Однако большую часть времени ожидания бурения (табл.1) и спускоподъемных операций (табл.3) ДГ будут недогружены. В результате значительную часть выработанной ими электроэнергии необходимо рассеивать на БРМ, тиристорное (пропорциональное углу регулирования  $\alpha$ ) управление которым приводит к выбросу РМ (табл.1), увеличивающему потери и нерациональный расход моторесурса ДГ. Из приведенных в табл.1–3 данных видно, что динамическая (в режиме реального времени [1]) компенсация РМ в диапазоне до 1600 квар позволит максимально приблизить электропотребление СЭС (примерно 1250 кВА) к активному и обеспечить работу одной БУ от двух ДГ с  $k_3=0,78$ . Величину ступени компенсации можно принять кратной максимальной РМ коммутации тиристорного контактора (для контакторов типа TSL-AT-690 – равной 100 квар [2]).

### Электропотребление БУ 4500/270 при различных режимах работы

Приведенные ниже данные получены в результате технического аудита, выполненного ООО “А.Д.Д. Сервис”,

Наименование присоединения	Активная мощность, кВт	Реактивная мощность, квар	Полная мощность, кВА	$\cos\varphi$	Требуемая РМ компенсация, квар
Собственные нужды	186	178	257,44	0,72	39,1
Главный привод, режим ХХ	5	7	8,6	0,58	3,25
БРМ	149	367	396,09	0,40	229,5
Верхний привод, режим ХХ	12	14	18,44	0,65	5
Итого					<b>276,85</b>

Табл. 1

г. Санкт-Петербург.

**Режим ожидания бурения.** В этом режиме работают три ДГ. Подключен БРМ. При этом от трансформатора собственных нужд, кроме вспомогательных механизмов БУ, освещения и обогрева, запитаны обмотки возбуждения электродвигателей приводов насосов и лебедки. Результаты приведены в табл.1.

**Режим бурения.** Работает система верхнего привода, два буровых насоса (оба насоса имеют по 67 ходов в минуту, расход буровой смеси – 34,8 л/с, давление в манифольде – 150 атм., диаметр рубашки – 160 мм, глубина забоя – 2050 м). Лебедка в режиме удержания веса колонны труб (43,9 т). БРМ выключен. Электропотребление для этого случая приведено в табл.2.

Наименование присоединения	Активная мощность, кВт	Реактивная мощность, квар	Полная мощность, кВА	$\cos\varphi$	Требуемая РМ компенсация, квар
Собственные нужды	334	395	517,3	0,65	140,3
Главный привод	912	1700	1929	0,47	1016
Верхний привод	104	768	775	0,13	690
Итого					<b>1846,3</b>

Табл. 2

**Режим спускоподъемных операций.** Максимальный вес на крюке – 128 т, глубина забоя – 2491,2 м. Система верхнего привода в режиме ожидания. Буровые насосы отключены. БРМ включается при малых нагрузках и в режиме рекуперации – спуске бурового инструмента. Электропотребление в этом режиме приведено в табл.3.

Таким образом, согласно условию компенсации РМ, до средневзвешенного значения  $\cos\varphi=0,8$  (табл.1–3), за каждую технологическую операцию цикла проходки были выбраны следующие основные технические параметры автоматизированных ФКУ (табл.4).

Частичная локализация наиболее мощных гармоник непосредственно в узлах присоединения преобразователей приводов БУ (на стороне низкого напряжения СЭС) обеспечит защиту конденсаторов и выполнение ими функции компенсации РМ [1]. Поэтому следующий этап расчета заключался в определении требуемой частоты расстройки фильтрокомпенсирующих ступеней установки. По данным анализа, проведенного в течение 72-х часов работы БУ ряда периодических измерений присутствующего в сети подключ преобразователей гармонического спектра, наиб зафиксированное значение THD (total harmonic



составило 47%, наименьшее – 20%, преобладающими оказались 5-я и 7-я гармоники (рис.2). В свою очередь, среднее значение коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения –  $K_U$  за время измерения – 13,5% выше предельно допустимого (12%) для СЭС общего назначения до 1 кВ [3]. Следовательно, в рассматриваемой СЭС для компенсации РМ необходимо предусмотреть применение частотно-расстроенных (detuned systems) звеньев “дроссель + батарея конденсаторов” – последовательное включение с конденсаторами специальных фильтрующих дросселей [4], обеспечивающих подавление 5-ой и 7-ой гармоник не менее чем на 6 дБ, и исключающих резонанс контура “трансформатор + ФКУ”. На рис.2 (зачерненный прямоугольник – измерение без ФКУ; светлый прямоугольник – измерение после установки ФКУ) представлены результаты измерения присутствующего в распределительной сети спектра гармоник до и после установки ФКУ с частотой расстройки ступеней регулирования 189 Гц. При этом значение THD в СЭС снизилось до 6...7%, что соответствует допустимому отклонению синусоидальности напряжения.

На основании вышеизложенного в автономной СЭС куста БУ 4500/270 было рекомендовано установить быстродействующую ФКУ суммарной РМ 1600 квар (табл.4).

Практически, после подключения ФКУ режим бурения (максимальной загрузки куста) обеспечивался работой 4-х ДГ, вместо 6-ти ДТ в случае отсутствия компенсации. В среднем продолжительность режима бурения составляет около 70% производственного цикла БУ, поэтому экономия топлива и моторесурса ДГ очевидна. Отметим, что при спускоподъемных операциях (табл.3) работа ФКУ позволила вывести из работы один ДГ (в этом случае электроснабжение осуществляется от 3-х ДГ).

Принципиальная схема подключения ступени ФКУ контактором TSL-AT-690 приведена на рис.3.

Учитывая требуемую высокую скорость переключения ступеней, уровень номинального напряжения (660 В) и режим работы (на сеть с изолированной нейтралью), остановимся

Наименование присоединения	Активная мощность, кВт	Реактивная мощность, квар	Полная мощность, кВА	cosφ	Требуемая РМ компенсации, квар
Собственные нужды	240	183	302	0,80	-
Гл. привод: подъем ный привод: подъем пучного блока	136	566	582	0,23	464
Главный привод: подъем максимального веса буровой колонны	601	1311	1442	0,42	847,4
Главный привод: спуск	-163	842,3	857,9	0,19	720,05
Главный привод: торможение	91	786	791,3	0,12	717,75
Верхний привод: режим ХХ	12	13	17,7	0,68	4

Табл. 3

более подробно на конструктивных особенностях ФКУ. В этом случае совместно с регулятором РМ типа BR 6000-T12, алгоритм

Наименование присоединения	Номинальное напряжение, кВ	РМ компенсации, квар	Тип компенсации
Главный привод	0,66	1000	Динамическая
Верхний привод	0,66	700	Динамическая
Собственные нужды	0,4	150	Статическая

Табл. 4

действия которого обеспечивает поддержку заданного значения cosφ, используется адаптер 4R9702 [4]. Вход адаптера присоединяется к трем фазам компенсируемой сети, а выход – к клеммам подачи измерительного (не превышающего 300 В) напряжения регулятора. При этом входы измеряемого напряжения и напряжения питания регулятора должны быть разьединены. Однофазные косинусные конденсаторы C1–C3, РМ 12,5 и 15 квар на номинальное напряжение 525 В

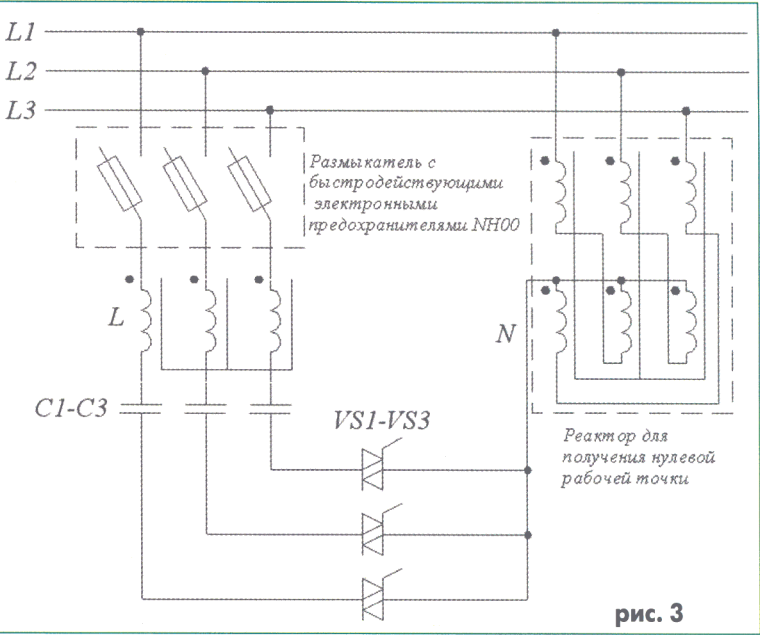


рис. 3

соединены “звездой” в трехфазную батарею и через фильтрующий дроссель L (с коэффициентом расстройки 5,67% [4]) подключены к симисторным ключам VS1–VS3 контакторов коммутации ступеней TSL-AT-690 (рис.3), схема управления которых получает питание от внешнего источника постоянного напряжения 12 В. Применяемые металлопленочные конденсаторы серии PhaseCap (МКК525-I-12,5-01, МКК525-I-15-01) обладают свойством “самовосстановления” и снабжены предохранителем от превышения избыточного давления внутри корпуса [4]. Для подключения средней рабочей точкой и соединением обмоток по схеме “зигзаг” (рис.3). Таким образом, снижено значение допустимого прямого тока и обратного напряжения, синхронизированных с сетью, поочередно коммутируемых полупроводниковых ключей контактора TSL-AT-690. Встроенный в контактор дисплей отображает уставки и измеренные значения параметров меню, а также выдает текстовые сообщения о сбоях в работе [2]. Аварийное реле отключает контактор при достижении критических значений контролируемых параметров. Принятое соотношение РМ включения ступеней: 1:1:1:2:2:2:2:2 (BR 6000-T12 имеет 12 транзисторных выходов [4]). Все элементы ФКУ размещены в 6-ти шкафах размерами 2200x800x1000 мм, оборудованных управляемыми термореле, системами вентиляции и подогрева, и установлены в передвижном контейнерном модуле. Внешний вид распределительного устройства электроснабжения БУ показан на рис.4. На переднем плане (верхний ярус) – контейнерный модуль ФКУ.

Подобное исполнение обеспечивает возможность демонтажа и перемещения ФКУ, задействованной на автономном энергетическом комплексе бурового куста 1А Верхне Салымского месторождения НФ ЗАО “ССК”.

Литература

1. Шишкин С.А. Комплексная система динамической компенсации реактивной мощности//Промышленная энергетика. – 2005. – № 10.  
2. Fast reaction//EPCOS COMPONENTS. – 2004. – № 3.  
3. ГОСТ 13109-97. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Минск: ИПК Издательство стандартов, 1998.  
4. Power Factor Correction. Product Profile 2005. Published by EPCOS AG. Ordering No EPC: 26013-7600. Germany.