

Продолжение. Начало в №5'2011.

Проблемы энергоэффективности и энергосбережения в России
Информационно-аналитический обзор
Часть II

Современные средства управления энергоэффективностью

и качеством транспорта и распределения электроэнергии

Леонид Добрусин, д. т. н., академик АЭН РФ

antanija@vei.ru

Средства управления энергоэффективностью и качеством транспорта и распределения электроэнергии можно разделить на две группы:

- средства управления потоками активной мощности;
- средства управления потоками неактивной мощности.

К первым относятся фазоповоротные устройства (ФПУ), которые являются основным инструментом минимизации потерь в электрических сетях. Такой эффект достигается при подключении ФПУ в определенных точках сети путем оптимального распределения потоков активной мощности между магистральными и распределительными линиями сети. ФПУ подразделяются на устройства трансформаторного (ФПТ) и электронного типа (ФПЭ), выполненные на базе средств преобразовательной техники.

Во вторую группу входят статические компенсаторы (СК), фильтры высших гармоник, шунтирующие реакторы (ШР). Данная группа приборов предназначена для управления параметрами качества напряжения. Наибольший эффект достигается при установке этих устройств в точках потребления неактивной мощности.

Устройства управления потоками активной мощности

В электрических сетях России ФПУ не применяются. В СНГ ФПУ трансформаторного типа впервые было применено в энергосистеме Казахстана [2]. Причиной тому послужило нарастание дефицита мощностей в Актыбинском энергоузле. В связи со сложившимся положением и в целях обеспечения независимости Западной зоны ЕЭС республики от импорта электроэнергии было принято решение о строительстве ВЛ-500 кВ Северный Казахстан — Актыбинская область.

Проектные проработки показали, что строительство новой 500-км ЛЭП 500 кВ ПС при традиционном исполнении не позволит загрузить эту линию, так как она окажется «электрически шунтирована» линиями юга России. Возникла необходимость в дополнительном оборудовании, которое позволило бы регулировать величину передаваемой мощности по электропередаче 500 кВ Жетыгара — Ульке.

Таким образом, впервые в СНГ установка ФПТ была выполнена на межсистемной связи 500 кВ Северный Казахстан — Актыбинская область (проектом предусмотрено ФПТ на ПС-500/220 кВ Ульке).

ФПУ (оригинальное название Quadrature Boosters, QBs — квадратурный бустер) применяются в электрических сетях Великобритании [3] с 1969 г., когда была введена в эксплуатацию первая установка в сети 275 кВ с пропускной мощностью 750 МВА. В 1997 г. были введены в эксплуатацию еще два QBs в сети 400 кВ с пропускной мощностью 2750 МВА.

К настоящему времени находятся в эксплуатации 13 QBs:

- два — на 400 кВ с пропускной мощностью 2750 МВА;
- пять — на 400 кВ с пропускной мощностью 2000 МВА;
- шесть — на 275 кВ с пропускной мощностью 750 МВА.

Работы продолжаются согласно семилетнему плану развития национальной сети Великобритании до 2014 г. Исследования QBs были выполнены в лаборатории ЕЭС Великобритании. Конструкции устройств разработаны и изготовлены на заводах г. Стаффорд Alstom (в настоящее время Areva) и заводе г. Пиблс Vatech (Siemens).

ФПУ эксплуатируются также в энергосистемах Бельгии, Франции, Италии, Чехии, США.

Устройства управления потоками неактивной мощности

Производство основных предприятий России и СНГ

НПЦ «ЭНЕРКОМ-СЕРВИС»

Научно-производственный центр «ЭНЕРКОМ-СЕРВИС» [4] с 1991 г. занимается разработкой и производством следующего электротехнического оборудования:

- статические тиристорные компенсаторы реактивной мощности (СТК);
- фильтры высших гармоник и фильтрокомпенсирующие устройства (ФКУ);
- сухие компенсирующие и шунтирующие реакторы;

- конденсаторные батареи и установки (БСК).

НПЦ имеет лицензию на проектирование, монтаж, наладку и испытания перечисленных выше устройств и уже поставил оборудование более чем на 200 российских предприятий и энергосистем, а также на металлургические комбинаты в китайских городах Ухань, Нанкин и Бао-Тоо (СТК 10 и 35 кВ).

Статические тиристорные компенсаторы

СТК выпускаются в двух модификациях: для электрических сетей и линий электропередачи и для промышленных предприятий. Мощность, объем и приоритетность их функций определяются при проектировании конкретной установки. Подключение компенсаторов к шинам подстанций или линиям 110–750 кВ осуществляется через согласующий трансформатор или к третичной обмотке существующего трансформатора подстанции. Требуемая мощность СТК обеспечивается соответствующим количеством модулей, объединенных общим автоматическим регулятором.

При необходимости предприятие может провести комплекс работ по внедрению СТК, в который входят: обследование электрических сетей, выполнение необходимых измерений с целью определения типа, мощности и мест подключения компенсаторов, выбор схем и параметров оборудования; поставка оборудования СТК «под ключ», монтаж, наладка, пусковые испытания, обучение персонала, последующее сервисное обслуживание и др.

Фильтры и фильтрокомпенсирующие устройства

ФКУ проектируются индивидуально для каждого отдельного применения. Это гарантирует возможность достижения наивысших параметров по фильтрации высших гармоник и коррекции коэффициента мощности (табл. 1). Фильтры высших гармоник состоят из конденсаторов, включенных последовательно с индуктивностью.

«ЭНЕРКОМ-СЕРВИС» имеет опыт изготовления фильтров высших гармоник на напряжение 0,4/6,3/10/35 кВ для предприятий металлургической, электрохимической промышленности и для электросетей стран ближнего и дальнего зарубежья. Специалисты предприятия могут произвести обследование сети для выявления спектра гармоник и составления технического задания на проектирование оборудования.

Сухие компенсирующие и шунтирующие реакторы

«ЭНЕРКОМ-СЕРВИС» изготавливает и осуществляет комплектную поставку компенсирующих (шунтирующих) сухих (без масла) реакторов наружной установки типа РКОС-10000/10 кВ и РКОС-7000х2/35 кВ для подключения к третичным обмоткам АТ 500 кВ с целью снижения уровней напряжения в сетях 500, 220 и 110 кВ. Компенсирующие реакторы изготавливаются по ТУ 16-ИАВК.435642.003 и перед отправкой заказчику проходят сертификационные испытания на стендах АО ВНИИЭ.

Компенсирующие реакторы также предназначены для установки в комплексе оборудования СТК реактивной мощности, используе-

мых для улучшения качества электроэнергии, а также для стабилизации напряжения в сетях 35/6/10 кВ. В отдельных случаях устройства могут быть изготовлены с магнитопроводом.

Трехфазная группа реакторов имеет мощность 30 МВАр на 10 кВ или 42 МВАр на 35 кВ при соединении фаз в «треугольник» и 21 МВАр на 35 кВ при соединении фаз в «звезду». Количество групп определяется мощностью реактора и требованиями энергосистемы. Коммутация групп может осуществляться автоматическими вакуумными или элегазовыми выключателями с помощью регулятора, изменяющего напряжение 500 или 220 кВ.

При необходимости ступенчатого регулирования реактивной мощности может быть поставлено дополнительно следующее оборудование: выключатели 10–35 кВ; ограничители перенапряжений и цепи демпфирования для снижения коммутационных перенапряжений при отключениях реакторов; автоматический регулятор.

Батареи статических конденсаторов

БСК производятся НПЦ «ЭНЕРКОМ-СЕРВИС» устанавливаются вблизи устройства, являющегося индуктивной нагрузкой.

Снижение перетоков реактивной мощности в сети приводит к снижению потерь активной энергии и напряжения, что позволяет снизить загрузку ЛЭП и трансформаторов и регулировать напряжение в энергосистеме. Например, на ПС 110 кВ «Кубинка» в результате установки двух БСК 50 МВАр на 110 кВ удалось увеличить напряжение на шинах 110-кВ подстанции до значений по ГОСТ 13.109-97, что позволило отказаться от дополнительных устройств регулирования напряжения со стороны потребителей. Установка БСК на подстанциях Рязанских электрических сетей позволила подключить дополнительно потребителей суммарной мощностью 40 МВт за счет разгрузки питающего трансформатора.

Комплексы оборудования

Управляемые шунтирующие реакторы позволяют осуществлять стабилизацию

напряжения на воздушных линиях с большой зарядной мощностью. В комбинации с батареями конденсаторов, включенных параллельно, они являются статическими компенсаторами (СК) — аналогами СТК, что дает возможность поддерживать стабильное напряжение на линиях при больших и малых нагрузках.

На ПС 220 кВ «Когалым» и ПС 220 кВ «Прогресс» МЭС Западной Сибири в начале октября 2009 г. введены в работу по одному комплексу СК в составе трансформатор-реактор мощностью 30 МВАр, на вторичную обмотку 11 кВ которого параллельно подключены три тиристорных вентиля. Изменением фазы управляющих импульсов вентилях меняют мощность управляемого реактора (УШРТ). Наличие двух параллельно подключенных УШРТ конденсаторных батарей 2х25 МВАр определяет диапазон изменения реактивной мощности СК (от -30 до +50 МВАр). Тиристорные вентили смонтированы в находящемся рядом с трансформатором-реактором контейнере.

Возможна поставка УШРТ без конденсаторных батарей для подключения в узлах слабо загруженных сетей или в дополнение к уже имеющимся в эксплуатации конденсаторным батареям.

«АО Ансальдо-ВЭИ»

ЗАО «АО Ансальдо-ВЭИ» [5] создано в 1996 г. на базе научно-инженерного центра «Преобразователь» ВЭИ им. В. И. Ленина и Ansaldo Sistemi Industriali (Италия), действующей на рынке электрооборудования более 100 лет. Основные направления деятельности компании — разработка, изготовление, испытания, пуско-наладочные работы и обслуживание высоковольтных электрических преобразователей различного назначения в широком диапазоне напряжения, мощности и частоты. Система менеджмента качества соответствует требованиям стандарта ISO 9001:2000.

Таблица 1. Примеры ФКУ, изготовленных НПЦ «ЭНЕРКОМ-СЕРВИС» для различных случаев применения и на разные напряжения

Тип фильтра	УСФМ-5/7-0,4-790 УЗ	ФКУ-13-10-3000 УЗ	ФКУ-2-35-43000 У1
Номинальное напряжение ФКУ, кВ	0,4	10	35
Номер гармоники	5/7	13	2
Номинальная установленная мощность ФКУ, МВАр	0,79	3,0	43,2
Номинальная генерируемая мощность ФКУ, МВАр	0,524	2,5	16
Частота номинальная, Гц	50		
Частота настройки фильтра, Гц	250/350	650	100
Длительный ток, А		152	270
Ток основной гармоники, А	770	146	262
Ток высших гармоник, А	240/180	41	50
Амплитуда тока при включении фильтра, кА		1,23	1030
Допустимый ток перегрузки, А		200	350
Длительность тока перегрузки, с		20	
Частота перегрузки		20 раз в сутки	
Добротность на частоте 50 Гц	50	50	40
Добротность на частоте настройки	100	100	70
Число конденсаторов в фазе батареи, шт.	21	5	72
Масса ФКУ, кг	1800	1500	5500
Габаритные размеры, мм, не более	длина	2100+1150	4600
	ширина	800	1200
	высота	2140	2000

Таблица 2. Разработки ЗАО «АО Ансальдо-ВЭИ»

Место установки	Год	Технические характеристики			
		Напряжение, кВ	Мощность, МВА	Система охлаждения	
Статический тиристорный компенсатор					
Молдавский металлургический завод (Рыбница)	1985	35	160	Водяная	
Дальневосточный металлургический завод (Комсомольск-на-Амуре)	1986				
ОАО «Амурметалл» (Комсомольск-на-Амуре)	2009				
Серовский металлургический завод (Серов)	2006				
ОАО «Новоросметалл» (Новороссийск)	2007				
Мини-завод в г. Курахово (Украина)	2008				
ОАО «Ижорские заводы» (Санкт-Петербург)	2009	65			
ЗАО «Стакс» (Красный Сулин), два комплекта	2009	10	45		
ЧКД-Прага (Чехословакия)	1990	2,5	10		
Молдавский металлургический завод (Рыбница)	1999	10	27,5	Воздушная	
Белорусский металлургический завод (Жлобин)	2010	10	20		
ОАО «Уралкалий» (Березники), пять комплектов	2010	6	12		
ОАО «Тагмет» (Таганрог)	2011 (план)	35	180	Водяная	
ЗАО «КНПЭМЗ» (Ворсино)	2011 (план)				
ГУП «Литейно-прокатный завод» (Ярцево)	2011 (план)				
Высоковольтные тиристорные вентили статического компенсатора					
Белорусский металлургический завод (Жлобин)	1988	33	109	Водяная	
Волжский трубный завод (Волжский)	1989		160		
Реконструкция статического тиристорного компенсатора					
ОАО «Амурметалл» (Комсомольск-на-Амуре)	2008	35	160	Водяная	
Тиристорный регулятор управляемого шунтирующего реактора трансформаторного типа УШРТ-230/60 (два комплекта)					
Компания ENE-E.P. (Ангола)	2009	ВН	регулятора	60	Водяная
		230	12		
Система управления статического тиристорного компенсатора СТК-35 кВ					
Молдавский металлургический завод (Рыбница)	2001	Полностью цифровая; дублированный комплект			

В таблице 2 приведены сведения о деятельности предприятия по разработке, производству и вводу в эксплуатацию СТК.

Усть-Каменогорский конденсаторный завод

Усть-Каменогорский конденсаторный завод [6] основан в 1953 г., с июня 2004 г. — АО «УККЗ». Завод аккредитован в РАО ЕЭС России как изготовитель и поставщик электрооборудования для предприятий РАО, а также имеет сертификат «ЭнСЕРТИКО» на право поставки продукции предприятиям электроэнергетики России и внесен в Реестр потенциальных поставщиков продукции (оборудования, запчастей и материалов) в качестве официального поставщика Росэнергоатома.

Одно из главных направлений производства — комплектные конденсаторные устройства для компенсации реактивной мощности. Приведем их номенклатуру и технические характеристики.

УКМ

Типономинал установок конденсаторных многоступенчатых (УКМ) обычно выглядит следующим образом:

$$УКМх3-XX-YY-ZZ У3,$$

где первое число после типа (XX) — номинальное напряжение, кВ; далее YY — номинальная мощность, кВАр; ZZ — мощность ступени регулирования.

Выпускаемые Усть-Каменогорским заводом регулируемые УКМ низкого напряжения выполняются навесными и напольными.

Количество и мощность ступеней в навесных УКМ могут быть:

- 12,5+2×25;
- 12,5+3×25;
- 2×12,5+25;
- 2×12,5+2×25;
- 2×25+50.

Их габариты 600×350×850 мм, масса не более 60–75 кг.

В напольных УКМ, помимо указанных выше, присутствуют и другие комбинации ступеней: например, от 3×50 до 12×50, 2×25+1×50+4×75 и т. д. Габариты данных установок 600×325×900, 600×325×1300, 600×325×1650, 600×475×1450, 600×475×1850 мм; вес 60–160 кг (в зависимости от типа). Все УКМ выполняются в соответствии с ТУ 63 10 РК-00213457-АО-038-2005.

УКРМ

Типономинал конденсаторных установок высокого напряжения с автоматическим регулированием мощности (УКРМ) выглядит следующим образом:

$$УКРМ56-XX-YY-(Z×ZZZ)У3,$$

где число 56 означает, что в устройстве присутствует разъединитель с заземляющими ножами; XX — номинальное напряжение, кВ; YY — номинальная мощность (обычно 450/900/1350/1800/2250/2700/3150 кВАр); Z×ZZZ —

количество и мощность ступеней регулирования.

Габаритные размеры УКРМ: 3366×825×1830, 3966×825×1830, 4566×825×1830, 5166×825×1830, 5766×825×1830, 6366×825×1830, 6966×825×1830, 7566×825×1830 мм; масса от 995 кг (УКРМ56-6,3(10,5)-450-(2×225)У3) до 2365 кг (УКРМ56-6,3(10,5)-3150-(2700*+3×150)У3).

Все установки выполняются по согласованному техническому заданию, имеют степень защиты IP32, диапазон рабочих температур –20...+40 °С.

УКМФ

Типономинал конденсаторных установок низкого напряжения многоступенчатых регулируемых фильтровых (УКМФ) выглядит следующим образом:

$$УКМФ1(NN)-XX-YY-ZZ У3,$$

где первое число (NN) — цифровое обозначение частоты резонанса (1–210 Гц для расогласования 5,67%; 2–189 Гц для расогласования 7%; 3–135 Гц для расогласования 14%); XX — номинальное напряжение в киловольтах; YY — номинальная мощность (как правило, 50/75/100/125/150/175/200/250/300 кВАр); ZZ — мощность ступени регулирования.

Габаритные размеры УКМФ, не более: 800×600×1200, 800×600×1600, 800×600×2000 мм. Количество и мощность ступеней могут быть различными, к примеру 2×25 (УКМФ1(2,3)-0,4-50-25 У3), 2×25+4×50 (УКМФ1(2,3)-0,4-250-25 У3) и т. д. Все установки выполняются по согласованному техническому заданию, комплектуются конденсаторами типа КПС и защитными дросселями для фильтрации высших гармоник, имеют степень защиты IP21 и принудительное охлаждение.

Серпуховский конденсаторный завод «КВАР» [7]

Серпуховский конденсаторный завод «КВАР» основан в 1951 г. В настоящее время является ведущим предприятием России по выпуску силовых конденсаторов и конденсаторных установок (таблица 3) высокого и низкого напряжения.

Конденсаторные установки

Общие характеристики КУ:

- допустимое отклонение мощности от номинальной величины не более –5+10%;
- допустимое отклонение емкости фаз (межфазной) от номинальной не более –5+10%;
- допустимое отклонение емкостей фаз (межфазных) друг от друга не более 5%;
- номинальная частота 50 Гц;
- три фазы.

Схема соединения фаз «звезда» с изолированным нулем выполняется для установок на 10,5 кВ, «треугольник» — для установок на 6,3 кВ. По требованию заказчика возможно изготовление КУ с соединением фаз «звезда» на 6,3 кВ и «треугольник» на 10,5 кВ.

Установки имеют защиту от превышения действующего значения напряжения выше $1,1U_{ном}$, действующего значения тока выше $1,3I_{ном}$. Для бесконтактного контроля переменного тока применяется реле с независи-

Таблица 3. Основные технические характеристики высоковольтных конденсаторных установок СКЗ «КВАР»

Тип установки	Номинальное напряжение, кВ	Номинальная мощность, кВАр	Номинальный линейный ток, А	Номинальная емкость, мкФ	
				фазы при схеме соединения «звезда»	межфазная при схеме соединения «треугольник»
УКЛ(П)57(56)	6,3	300	27,5	–	12
		450	41,2	–	18
		600	55	–	24
		900	84,5	–	36,15
		1200	110	–	48,15
УКЛ(П)57(56)	10,5	300	16,5	8	–
		450	24,8	12	–
		600	33	16	–
		900	49,5	24,1	–
		1200	66,1	32,1	–
		1350	74,3	36,1	–

мыми уставками по току и времени срабатывания. Гарантийный срок эксплуатации КУ — один год. Возможно изготовление установок по техническому заданию заказчика, в том числе в климатическом исполнении УХЛ1. Установки соответствуют требованиям ГОСТ, имеют декларацию о соответствии и сертификат соответствия системы ГОСТ Р.

Фильтры силовые высших гармоник

Выпускаемые предприятием фильтры состоят из ячейки ввода, двенадцати конденсаторов КЭКФ-6,6-200-2У1, объединенных в три конденсаторных блока, и трех реакторов (с воздушным сердечником и естественным охлаждением). Они имеют следующие виды защит: от неисправности конденсатора (замыкание между обкладками, замыкание на корпус); от межфазных замыканий и замыканий фазы на землю; от длительных перегрузок по току, превышающему 1,3 номинального. По требованию заказчика могут быть изготовлены фильтры мощностью 1200–6000 кВАр.

ОАО «ЭЛУР»

Сфера деятельности ОАО «Электрические управляемые реакторы» [8] — комплексные решения в области компенсации реактивной мощности и регулирования уровней напряжения. Компания была организована в 2000 г. сразу после ввода в эксплуатацию первого управляемого шунтирующего реактора на ПС-110 кВ «Кудымкар». Начиная с этого момента была разработана, изготовлена и введена в эксплуатацию целая серия управляемых шунтирующих реакторов (УШР) различного класса напряжения и различной мощности.

Поставляемые предприятием УШР и устройства компенсации реактивной мощности позволяют автоматизировать управление режимами напряжения в электрических сетях, существенно повысить уровень надежности и уменьшить потери электроэнергии. «ЭЛУР» также обеспечивает необходимый объем инженерингового сопровождения, включающий разработку технико-экономического обоснования; проведение комплекса электрических расчетов работы энергосистем и электрических сетей; сопровождение проектирования; формиро-

вание предложений относительно схем организации релейной защиты.

В настоящее время «ЭЛУР» реализует стратегию по выходу на международные рынки, в том числе Латинской Америки и Африки. Первым шагом в этом направлении стало сопровождение проектирования, изготовления и пуска в эксплуатацию управляемого шунтирующего реактора 180 МВА 330 кВ Игналинской АЭС (Литва).

Номенклатура выпускаемых предприятием УШР:

- РТУ-180000/500 (трехфазное исполнение);
- РТУ-180000/500 (пофазное исполнение);
- РТУ-180000/330;
- РТУ-100000/220;
- РТУ-63000/110;
- РТУ-25000/110.

Расшифровка типонамала: РТУ — реактор трехфазный управляемый, далее мощность (кВАр)/напряжение (кВ).

ПАО «Запорожтрансформатор»

Завод «Запорожтрансформатор» (ЗТР) [9] основан в начале 50-х гг. и в настоящее время является одним из лидеров мирового трансформаторостроения, поставляя продукцию в 83 страны мира.

Номенклатура продукции завода включает силовые масляные трансформаторы, электрические и управляемые шунтирующие реакторы (УШР) мощностью 1–1250 МВА на классы напряжения 10–1150 кВ, различного назначения и для различных климатических и сейсмических условий.

Выпускаемые заводом УШР предназначены для компенсации реактивной мощности в линиях электропередачи напряжением 35–800 кВ. Реакторы позволяют увеличить пропускную способность линии, снизить потери электроэнергии при ее трансформации, улучшить качество электроэнергии, поставляемой потребителю. Базовая модель УШР была разработана с учетом опыта эксплуатации реакторов в электрических сетях в течение 30 лет. В качестве основы была выбрана конструкция со стержневой магнитной системой с немагнитными зазорами в стержне как наиболее надежная, экономичная и более полно удовлетворяющая требованиям заказчиков.

Основные характеристики УШР производства ЗТР:

- мощность 250/630/100/180 МВАр;
- диапазон регулирования реактивной мощности 100%;
- мощность управления 1–3% номинальной мощности УШР;
- гарантированная скорость набора полной мощности 0,15–3 с;
- время набора полной мощности с предварительным подмагничиванием не более 0,02 с;
- удельная полная масса 1,5–3 кг/кВАр;
- удельные потери холостого хода 0,5–1,0 Вт/кВАр, номинальные — 4–8 Вт/кВАр;
- допустимая перегрузка по мощности 130% (не более 30 мин.);
- допустимая перегрузка по току 120% (не более 30 мин.);
- полностью автоматический режим эксплуатации;
- уровень надежности, условия эксплуатации и текущего обслуживания соответствуют обычным ППР.

«ЭЛЕКТРОЗАВОД»

Холдинговая компания «ЭЛЕКТРОЗАВОД» [10] — ведущий российский и мировой производитель разнообразного электротехнического оборудования, поставляемого для всех отраслей экономики, включая электроэнергетику, металлургию, машиностроение, транспорт, оборонный комплекс, ЖКХ. Созданный в 1928 г. первый отечественный трансформаторный завод сыграл колоссальную роль в индустриализации страны и в развитии отечественной энергетики. Оборудование с маркой «ЭЛЕКТРОЗАВОД» надежно работает более чем в 60 странах мира.

В структуре ХК «ЭЛЕКТРОЗАВОД» в настоящее время имеются производственные, сервисные подразделения, собственные проектные и научно-исследовательские институты, инженеринговый центр. В частности, предприятие выпускает шунтирующие реакторы напряжением до 500 кВ мощностью до 180 МВАр.

Продукция основных зарубежных предприятий

Siemens

Крупнейшие предприятия дальнего зарубежья, к числу которых относится Siemens [11], обычно осуществляют комплектную поставку «под ключ» электроэнергетического оборудования, включая средства управления потоками неактивной мощности. Компания Siemens выполняет проекты и поставки по индивидуальным заказам. В зависимости от требований заказчика применяются различные виды компенсаторов:

- с тиристорным управлением секциями конденсаторов (SC);
- статические компенсаторы классического типа (SVC);
- СТАТКОМ;
- статические компенсаторы на основе механически коммутируемых конденсаторов (MSC/MSCDN).

К примеру, Siemens получил заказ стоимостью €65 млн от Саудовской Аравии на по-

ставку «под ключ» системы статической компенсации реактивной мощности. К 2012 г. компания поставит три статических компенсатора для сетей различного уровня напряжения в Electric Company. Параллельные системы компенсации будут размещены на трех подстанциях. Компенсаторы предназначены для стабилизации напряжения в сетях 380, 13 и 33 кВ. Суммарная мощность компенсации — 800 МВАр.

Еще один заказ — система электропитания морской платформы «Голиаф» в Баренцевом море для производства, хранения и отгрузки нефти и газа к северу от Норвегии. Электрическая энергия будет поставляться с берега через 106-км подводный кабель. Siemens поставит «под ключ» систему электропитания, которая, по существу, состоит из подстанций, расположенных в г. Хаммерфест в Северной Норвегии, воздушных линий электропередачи, подземного кабеля и современной системы компенсации реактивной мощности. Систему электропитания платформы планируется ввести в строй в 2012 г.; начало производства продукции запланировано на 2013 г. Для стабилизации напряжения в высоковольтной сети и для компенсации реактивной мощности в 106-км подводном кабеле Siemens будет использовать свою последнюю SVC-технологю: SVC Plus с непрерывным контролем мощных транзисторов (IGBT). Ядром SVC Plus является СТАТКОМ, выполненный в виде модульной конструкции. Данная технология обеспечивает синусоидальную форму напряжения без низкочастотных фильтров, что существенно уменьшает необходимое пространство для размещения общего блока устройства.

ASEA Brown Boveri (ABB)

История ABB [12, 13] восходит к концу XIX в. Компания до сих пор имеет технологическое лидерство во многих отраслях промышленности. В последние годы основная область деятельности ABB — реализация крупномасштабных проектов в энергетике и автоматизации производств. Значительную часть продукции компании составляют средства управления потоками неактивной мощности. В общей сложности ABB поставила около 700 систем, то есть более 50% всех установок в мире.

Самый большой в мире статический компенсатор реактивной мощности (SVC) с рабочим диапазоном от +575 МВАр (емкостной) до -145 МВАр (индуктивный), на 500 кВ, находящийся в компании Allegheny Power (США), был создан в ASEA Brown Boveri.

В декабре 2004 г. компания ввела в коммерческую эксплуатацию в США (Остин, шт. Техас) СТАТКОМ на +100 МВАр/138 кВ, что позволило ускорить закрытие экологически проблемной электростанции при сохранении адекватного уровня напряжения в сети компании Austin Energy. В течение двух лет были выполнены все предпроектные мероприятия (исследования, спецификация, выбор поставщика), проектирование, поставка, монтаж и ввод в эксплуатацию.

Существующий в различных электросетях на протяжении многих лет дефицит инвестиций вынуждает больше внимания уделять интенсификации использования имеющихся линий передачи, сотрудничеству с иностранными партнерами, повышению качества вырабатываемой электроэнергии. В результате резко возрос интерес как к новым, так и к традиционным техническим решениям, к числу которых относятся гибкие системы передачи переменного тока (Flexible AC Transmission Systems, FACTS) — SVC, SVC Light, TCSC и др.

Для демонстрации неоспоримых преимуществ систем FACTS в части усовершенствования характеристик передачи и распределения электроэнергии рассмотрим следующие примеры:

- последовательно включенные конденсаторы с рабочим напряжением 500 кВ в системе энергоснабжения Пекина «Дафан»;
- применение встречно-параллельной схемы в пункте связи двух энергосистем на участке ЛЭП, проходящей через границу США с Мексикой в районе подстанции Игл-Пасс;
- железнодорожная линия в туннеле под проливом Ла-Манш.

Каждый из них по-своему объясняет столь высокий в настоящее время интерес к системам FACTS.

Энергосистема «Дафан»

В зоне с населением (с учетом г. Пекин) в 140 млн чел., обслуживаемой Северо-китайской энергосистемой, спрос на электроэнергию непрерывно растет, а строительство здесь новой электростанции представляется делом далеко не простым. Привлекательным альтернативным решением могла бы стать установка в существующем коридоре передачи электроэнергии дополнительных конденсаторов, включенных в схему последовательной компенсации. Для решения этой задачи была привлечена компания ABB, установившая два компенсационных конденсатора (каждый из которых рассчитан на реактивную мощность 372 МВА и напряжение 500 кВ) в средней точке каждой из цепей двухцепного 300-км коридора между городами Датун и Таншань. Уже через девять месяцев после подписания контракта (июнь 2001 г.) схема была введена в действие. Последовательно включенный конденсатор снижает реактивное сопротивление линии электропередачи (ЛЭП) с промышленной частотой (50 Гц), одновременно отдавая в сеть реактивную мощность. Такая схема обладает следующими достоинствами:

- Повышение фазовой устойчивости. Для обеспечения передачи электроэнергии требуется постоянно иметь определенную разность фаз напряжения на каждом из концов ЛЭП. Этот сдвиг фазы увеличивается с ростом передаваемой мощности, последовательно же включенный конденсатор поддерживает его в безопасных пределах. Иными словами, наличие конденсатора гарантирует, что сдвиг фазы не превысит уровня, за которым возможна опасная потеря фазовой устойчивости.

- Повышение стабильности напряжения ЛЭП.
- Оптимальное распределение мощности между обеими параллельными цепями. В отсутствие последовательных конденсаторов первой входить в режим насыщения будет ЛЭП с меньшей пропускной способностью, не позволяя дальше повышать подаваемую в систему мощность, несмотря на то, что вторая цепь могла бы ее принять. При наличии последовательных конденсаторов мощность перераспределяется между цепями, что повышает эффективность использования системы.

Последовательно включенные конденсаторы интегрированы в энергосистему и используют ее механизмы управления, защиты и контроля. При этом они полностью изолированы от земли. В качестве основных защитных устройств используются цинкоксидные варисторы и автоматические выключатели. Варисторы предназначены для ограничения напряжения на конденсаторе и снабжены искровыми разрядниками принудительного действия для шунтирования бросков тока, возникающих в аварийных ситуациях. Автоматические выключатели обеспечивают при необходимости подключение и отключение последовательных конденсаторов. Они требуются также для подавления разряда в разряднике, который не обладает свойством самогашения.

Конденсаторы рассчитаны на работу как в штатном стационарном режиме, так и при серьезных нештатных ситуациях, возникающих при выходе из строя одной из двух параллельных ЛЭП-500. В таких случаях конденсатор, установленный в линии, оставшейся в рабочем состоянии, должен быть способен принять на себя на какое-то время полную нагрузку обеих ЛЭП. По существу, именно эта особенность — обеспечение гарантированного импорта электроэнергии в Пекинский регион даже при выходе из строя одной из ЛЭП — и стала одной из главных причин установки последовательных конденсаторов.

Соединительная вставка Back-to-Back (BtB) Light на подстанции Игл-Пасс

SVC Light — фирменное наименование статического синхронного компенсатора компании ABB, выполненного на базе биполярных транзисторов с изолированным затвором (IGBT). Базирующаяся на применении конвертеров напряжения (Voltage Source Converter, VSC), эта технология обеспечивает необходимые средства поддержания требуемого напряжения в головных сетях. Игл-Пасс — удачный пример проекта, в котором платформа VSC сконфигурирована как линия передачи высокого напряжения постоянного тока (HVDC) со встречно-параллельной схемой, отличающейся тем, что приоритет в ней отдается поддержанию напряжения с помощью двоярных систем SVC Light.

В этом плане особенно важен тот факт, что создание возможности передачи активной мощности с использованием вставок HVDC Light либо на определенных участках, либо включенных по встречно-параллельной схеме

обеспечивает одновременно двунаправленную передачу активной и динамической реактивной составляющих мощности. Тем самым не только поддерживается стабильность режима передачи электроэнергии, но и открываются большие возможности для поддержания напряжения за счет резервных мощностей.

Подстанция в Игл-Пасс, принадлежащая объединенной энергосистеме American Electric Power (AEP) восточно-центральных штатов США, расположена в отдаленной местности штата Техас, на границе с Мексикой, и соединена с тexasской энергосистемой магистральных линий электропередачи двумя ЛЭП напряжением 138 кВ. Ближайшая достаточно мощная электростанция находится на расстоянии 145 км и потому предоставляет региону Игл-Пасс крайне незначительные возможности в отношении резерва мощности.

На подстанции Игл-Пасс имеется также ЛЭП напряжением 138 кВ, которая заведена на мексиканской стороне на подстанции в населенном пункте Пьедрас-Неграс, принадлежащую Федеральной энергетической комиссии (CFE). Эта ЛЭП используется, в основном, лишь в аварийных режимах для перераспределения нагрузки между смежными энергосистемами, однако такое перераспределение сопряжено с перерывами в подаче напряжения, поскольку системы CFE и AEP работают асинхронно (хотя обе имеют частоту 60 Гц). Для преодоления этого недостатка, а заодно и для устранения проблем, вызванных ростом спроса на электроэнергию, были предприняты попытки найти более эффективное решение. Как показало исследование потокораспределения нагрузки, снять впредь на многие годы имеющиеся проблемы могла бы установка непосредственно на подстанции в Игл-Пасс конвертера напряжения реактивной мощностью 36 МВА. Применение конвертеров напряжения для систем малой мощности оправдано, так как возможности в виде альтернативного решения за счет реактивной мощности шунтирующих конденсаторов быстро сокращаются с понижением напряжения.

Дальнейшее развитие такого подхода за счет использования двух VSC-установок, включенных по встречно-параллельной схеме, позволяет не только получить требуемую реактивную мощность, но и обеспечить обмен активными составляющими мощности между обеими энергетическими системами. Схема со встречно-параллельным включением (VtV) предоставила бы возможность осуществлять постоянную подпитку ЛЭП-138 на участке Игл-Пасс — Пьедрас-Неграс и мгновенную перекачку активной составляющей мощности от любой из двух систем. Для соединений по встречно-параллельной схеме на основе конвертеров напряжения возможность управления одновременно активной и реактивной составляющими мощности в динамическом режиме беспрецедентна. Поскольку коммутация конвертера напряжения осуществляется внутренними схемами этого устройства, его работа не зависит от системы переменного тока, к которой оно подключено. Максимальная гибкость достига-

ется при использовании в схемах управления IGBT-мостами широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Кроме того, ШИМ открывает неограниченные возможности для управления напряжением как при прямой, так и при обратной последовательности чередования фаз. Благодаря этому обеспечивается надежное функционирование встречно-параллельной соединительной вставки между энергетическими системами переменного тока даже при возникновении разбаланса. К тому же такой вставкой можно воспользоваться для подачи напряжения и поддержания автономной нагрузки. В случае подстанции Игл-Пасс это означает возможность бесперебойного электроснабжения местных потребителей даже при аварийном отключении одной из ближайших сетей. Возможна также подача напряжения в соединительную вставку с обеих сторон границы без каких-либо переключений, сопряженных с перерывами в подаче электроэнергии потребителям.

Соединительная вставка со встречно-параллельной схемой включения (VtV) состоит из двух конвертеров напряжения мощностью по 36 МВА. Оба конвертера относятся к типу с фиксированной нейтралью (Neutral Point Clamped, NPC). Каждый конвертер подключен к трехфазной группе фазовых реакторов. В соединительной вставке на подстанции Игл-Пасс предусмотрены варианты схем включения следующего назначения:

- регулирование напряжения;
- регулирование активной составляющей мощности;
- автономная работа обоих конвертеров;
- аварийный режим работы вставки.

В режиме регулирования напряжения обе энергосистемы (AEP и CFE) могут выполнять эту задачу независимо друг от друга. Соединительная вставка обеспечивает при этом с обеих сторон реактивную мощность, необходимую для поддержания напряжения на заданном уровне. Возможна передача активной мощности с любой из сторон, стабилизация же напряжения обеспечивается в обеих энергосистемах. При любых плановых передачах активной мощности система автоматического регулирования в случае необходимости мгновенно понижает ее до уровня, требуемого для выработки реактивной мощности, обеспечивающей стабилизацию напряжения в линии.

Режим регулирования активной составляющей мощности обеспечивает обмен ею между энергетическими системами AEP и CFE. Это возможно, когда уровень напряжения оказывается в мертвой зоне. При выходе напряжения из мертвой зоны соединительная вставка автоматически возвращается в режим регулирования напряжения и тут же автоматически снижает уровень активной составляющей мощности, чтобы обеспечить выработку реактивной мощности, необходимой для стабилизации напряжения. Мертвая зона выбирается таким образом, чтобы переключение местных конденсаторов и изменения на удаленном источнике электроэнергии, вызывающие незначительные колебания напряжения, не при-

водили к переходу соединительной вставки в режим регулирования напряжения.

В случае автономной работы конвертеров при проведении технического обслуживания на одной из сторон соединительной вставки вторая сторона сохраняет способность к регулированию напряжения по обе стороны вставки. Достигается это посредством размыкания шины постоянного тока, в результате чего шина распадается на две части, и обмен активной составляющей мощности между двумя сторонами вставки становится невозможным. При этом каждый из конвертеров способен отдавать в любую из энергосистем для поддержания напряжения реактивную мощность до ± 36 МВА.

Рассмотрим работу соединительной вставки в аварийном режиме. Если одна из ЛЭП-138 на подстанции Игл-Пасс выйдет из строя, оставшаяся ЛЭП-138 способна принять на себя только 50 МВт дополнительной нагрузки. В такой ситуации напряжение падает ниже 0,98 номинала, и соединительная вставка переключается в режим регулирования. Происходит немедленное автоматическое снижение активной мощности, чтобы уровень нагрузки подстанции гарантированно не вышел за предел 50 МВт (это нагрузка AEP в сумме с экспортом в энергосистему CFE), и установка VtV начинает отдавать реактивную мощность, необходимую для поддержания напряжения на номинальном уровне. Как показал анализ потокораспределения, при возникновении аварии в линии передачи на стороне AEP ее влияние на передачу электроэнергии от AEP к CFE будет незначительным.

Железная дорога под Ла-Маншем

Система тягового электроснабжения высокоскоростной электрифицированной железной дороги во Францию на участке между Лондоном и туннелем под Ла-Маншем рассчитана на нагрузку большой мощности (в диапазоне 10 МВт), отличающуюся колебаниями с крутыми фронтами. Она представляет собой современный задублированный источник напряжением 25 кВ с частотой 50 Гц, который с целью удержания в узких пределах падения напряжения на участках электротяги включен по автотрансформаторной схеме. Понижение напряжения, поступающего от высоковольтной сети, осуществляется напрямую с помощью трансформаторов, включенных между двумя фазами.

Главная особенность рассматриваемой системы энергоснабжения заключается в использовании статических компенсаторов реактивной мощности (Static Var Compensator, SVC), основная задача которых — симметрирование нагрузки и поддержание требуемого тягового напряжения в случае аварии питающей станции, когда два тяговых плеча должны питаться от одной подстанции.

Вторая цель использования SVC — поддержание в нормальном режиме коэффициента мощности на уровне, равном единице, что гарантирует низкий тариф на активную мощность.

Есть еще и третья цель, состоящая в подавлении с помощью SVC паразитных гармо-

ник путем их фильтрации из тяговой нагрузки. Необходимость этого вызвана тем, что на системы электротяги налагаются жесткие ограничения в отношении паразитного воздействия на уровень гармоник в узлах подключения к магистральным линиям электропередачи.

SVC, предназначенные только для поддержания напряжения, подключаются на тяговой стороне понижающих силовых трансформаторов. В этих трансформаторах имеются две последовательно соединенные обмотки промежуточного значения напряжения с заземленными средними точками. В результате между клеммами обмоток и землей создаются две разности потенциалов, находящихся в противофазе. Компенсаторы SVC включаются параллельно этим обмоткам, вследствие чего получаются идентичные однофазные цепи «фидер–земля» и «контактный провод–земля», подключенные к компенсаторам. Между этими двумя фазами включается тяговая нагрузка величиной до 120 МВт, вследствие чего при отсутствии компенсации возникает напряжение обратной последовательности чередования фаз, значение которого составляет 2%.

Для устранения разбаланса нагрузки на подстанции Селлиндж установлено уравнительное устройство в виде асимметрично управляемого компенсатора SVC. Устройство подключено к энергосистеме по трехфазной схеме и с целью создания сбалансированной нагрузки, воспринимаемой главной сетью, обеспечивает передачу из одной фазы в другую активной составляющей мощности. На упомянутой подстанции осуществляется компенсация не только асимметрии нагрузки, но и коэффициента мощности. Достигается это за счет включения конденсатора между фазами С и А.

Учитывая требование высокого уровня безотказности рассматриваемой системы, предусмотрено резервирование ее наиболее ответственных элементов, а в силовую цепь добавлена резервная четвертая фаза. Все фазы должны по возможности работать независимо друг от друга. Таким образом, была разработана уникальная конструкция и компоновочная схема станции для обеспечения автоматического регулирования и защиты. Подстанция имеет четыре автономные «интерфазы» (сборки элементов, включенные между двумя фазами). Каждая интерфаза оснащена своей системой фильтров, реактивных элементов, тиристорных переключателей, логических цепей возбуждения тиристорных, измерительных трансформаторов, устройств релейной защиты и систем охлаждения. Каждое соединение с шиной подстанции снабжено отдельным автоматическим выключателем и разъединителем. Подключение фильтров к четвертой интерфазе или отключение их превращают ее соответственно в индуктивную либо емкостную ветвь.

Трехфазной системой управляют два независимых контура управления, тогда как цепи возбуждения тиристорных и логические схемы воздействуют непосредственно

на каждую интерфазу. Системы автоматического регулирования, равно как и логические цепи возбуждения вентилях и общая система защиты надежно разобщены. При отказе одной из интерфаз система управления отключает ее и автоматически заменяет резервным модулем.

В вентилях используются тиристоры нового типа, представляющие собой устройства двунаправленного действия, состоящие на самом деле из двух тиристорных на общей кремниевой подложке, соединенных по антипараллельной схеме. Благодаря этому число вентильных элементов сокращается вдвое.

Тиристор представляет собой полупроводниковый прибор Ø127 мм, способный переключать токи с действующим значением 2000 А.

Выводы и перспективы

Как по экономическим, так и по экологическим причинам задача улучшения рабочих характеристик энергетических сетей в настоящее время приобретает все большее значение. Для повышения коэффициента использования ЛЭП наиболее подходящими оказались хорошо зарекомендовавшие себя системы FACTS.

Классический пример реального увеличения пропускной способности ЛЭП в условиях роста спроса на электроэнергию в быстроразвивающемся регионе (в данном случае в регионе, прилегающем к Пекину) демонстрирует проект «Дафан». Пример подстанции Игл-Пасс раскрывает богатейшие перспективы новых технологий, позволяющих совместить расширенные функциональные возможности систем FACTS с возможностью создания связи между энергосистемами. Наконец, железнодорожная магистраль в туннеле под Ламаншем иллюстрирует высокую степень гибкости систем FACTS, показывая, каким образом можно использовать их в том числе для решения проблем, порождаемых новыми типами нагрузок сложного характера. Например, с помощью описанных полупроводниковых модулей удаётся устранить разбаланс, вызываемый дополнительными тяговыми нагрузками, и, соответственно, избежать ограничения поставок электроэнергии другим потребителям.

Рассмотренные примеры показывают, что по мере возрастания значимости фактора эффективного функционирования энергосистем область применения средств FACTS будет все более расширяться. В настоящее время специалисты компании АВВ занимаются анализом возможности сочета-

ния средств FACTS с информационными технологиями, что позволило бы приблизить уровень использования таких систем к их предельным физическим возможностям.

Nokian Capacitors

В 2009 г. компания Nokian Capacitors [14] вошла в состав группы компаний AREVA T&D Ltd. Фирма работает в области энергосбережения и улучшения качества электроэнергии путем компенсации реактивной мощности и фильтрации гармоник более 50 лет и является одной из ведущих в мире.

Номенклатура оборудования высокого напряжения, выпускаемого Nokian Capacitors (параметры определяются при заказе):

- Конденсаторы и фильтры:
 - однофазные высоковольтные конденсаторы;
 - трехфазные высоковольтные конденсаторы;
 - конденсаторные батареи в закрытом корпусе;
 - высоковольтные конденсаторные группы;
 - фильтры гармоник.
- Реакторы:
 - демпфирующие;
 - реакторы фильтра;
 - шунтирующие;
 - токоограничивающие;
 - с тиристорным управлением (TCR);
 - с заземлением нейтрали.
- Устройства компенсации:
 - последовательные конденсаторы;
 - устройства продольной компенсации (СТК) для промышленных предприятий;
 - устройства продольной компенсации (СТК) для линий передачи электроэнергии.

Технические данные СТК, поставленного компанией Nokian Capacitors в Бразилию:

• напряжение сети 345 кВ;

• диапазон регулирования от –60 до +100 МВАр;

• частота сети 60 Гц;

• мощность реактора, управляемого тиристорами, 80 МВАр;

• мощность фильтров 5th 0,5, 7th 35, 11th 13,6, 13th 1,0 МВАр.

Toshiba

СТК производства компании Toshiba [15, 16] установлены на ЛЭП различных стран мира (табл. 4).

Кроме того, компания разработала первый в мире СТАТКОМ и внедрила его в Нагано (Япония) в 1992 г. Характеристики устройства: напряжение сети 500 кВ, мощность 50 МВА.

Таблица 4. Примеры поставок СТК Toshiba

Место установки	Технические характеристики			
	Напряжение сети, кВ	Мощность, МВА	Диапазон регулирования, МВА	
			индуктивный	емкостной
Квисленд, Австралия	275	230	–80	+150
Южная Австралия	275	300	–140	+160
Австрия, управляемый реактор	400	580		
Токио	500	100	–20	+80

Mitsubishi Electric

Mitsubishi Electric [17] — мировой лидер по разработке и производству СТАТКОМ. К настоящему времени компанией поставлено более 200 установок по всему миру, в том числе в США, мощностью 0,1–60 МВА и напряжением до 26,4 кВ.

Чтобы достигнуть высокоэффективных характеристик, компактных проектов и высокой надежности, применяются передовые технологии, базирующиеся на использовании IGBT, GTO и GCT.

Заключение

Анализ и сопоставление продукции ведущих российских предприятий, работающих в области производства средств управления потоками мощности в электрических сетях, с аналогичной по назначению продукцией мировых лидеров показывает, что отечественное оборудование значительно уступает устройствам ведущих компаний дальнего зарубежья по номенклатуре, технологиям, объему производства и завершенным проектам. В номенклатуре ведущих российских предприятий отсутствуют многие приоритетные технологии управления потоками мощности в электрических сетях, прежде всего на основе фазопово-

ротных устройств (ФПУ) и конвертеров (СТАТКОМ).

Приведем также выводы, сделанные автором настоящей работы в первой части обзора [1]:

1. Задача подъема энергетической и экологической эффективности российской электроэнергетики в свете указа Президента РФ № 889 от 04.06.2008 [18] является ключевой проблемой российской экономики.
2. Радикальное решение по минимизации потерь в электрических сетях России до физически обоснованного уровня возможно только на основе ликвидации неадекватных транспортных потоков в распределительных сетях путем широкого применения фазосдвигающих устройств. Соответствующие дополнения и изменения необходимо внести в Положения о технической политике ФСК и МРСК, кроме того, должна быть создана постоянно действующая рабочая группа для координации работ по минимизации потерь.
3. Для реализации задачи повышения энергетической и экологической эффективности российской электроэнергетики в сроки, установленные указом Президента РФ № 889, необходима федеральная целевая программа «Энергоэффективность и качество транспорта и распределения электроэнергии».

Литература

1. Добрусин Л. Проблемы энергоэффективности и энергосбережения в России. Информационно-аналитический обзор. Часть I. Актуальные задачи транспорта и распределения электроэнергии // Силовая электроника. 2011. № 5.
2. <http://www.news.elteh.ru/arh/>
3. <http://www.nationalgrid.com/uk/electricity>
4. http://enercomserv.ru/?issue_id=2
5. www.ansaldovei.ru
6. www.ukkz.com
7. http://proelectro2.ru/firm_4797
8. www.elur.ru
9. www.ztr.ua
10. <http://www.elektrozavod.ru/index.htm>
11. <http://www.energy.siemens.com/entry/energy/hq/en/>
12. <http://www.plccenter.co.uk/CompanyInfo/AboutUs>
13. http://www.human-en.ru/glossary/?ELEMENT_ID=64
14. <http://www.nokiancapacitors.ru/presentation.htm>
15. www.toshiba.com.ru
16. <http://www.toshiba-tds.com/tandd/products/pepsystems/en/facts.htm>
17. <http://www.mitsubishielectric-usa.com/news/1999/060999a.html>
18. <http://graph.document.kremlin.ru/page.aspx?963479>